ผลของสารเคลือบผิวว่านหางจระเข้และสารควบคุมการเจริญเติบโตบางชนิดต่อการยืดอายุการเก็บรักษาของผลมะนาวพันธุ์แป้น

Effects of *Aloe vera* Coating and Plant Growth Regulators on Storage Life Prolonging of Lime (*Citrus aurantifolia* Swingle cv. Pan)

ชมพูนุท บัวเผื่อน

Chompunut Buapuean

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Plant Science
Prince of Songkla University
2559

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ ผลของสารเคลือบผิวว่านหางจระเข้และสารควบคุมการเจริญเติบโตบางชนิดต่อการยืดอายุการเก็บรักษาของผลมะนาวพันธุ์แป้น

ผู้เขียน นางสาวชมพูนุท บัวเผื่อน

สาขาวิชา พืชศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

..... (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลดาวัลย์ เลิศเลอวงศ์)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ (ดร.อดิเรก รักคง)

.....กรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมัคร แก้วสุกแสง)

.....กรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กนกพร บุญญะอติชาติ)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชศาสตร์

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....
(ผศ.ดร.ลดาวัลย์ เลิศเลอวงศ์)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....
(นางสาวชมพูนุท บัวเผื่อน)
นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....
(นางสาวชมพูนุท บัวเผื่อน)
นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ ผลของสารเคลือบผิวว่านหางจระเข้และสารควบคุมการเจริญเติบโตบางชนิดต่อการยืดอายุการเก็บรักษาของผลมะนาวพันธุ์แป้น
ผู้เขียน นางสาวชมพูนุท บัวเผื่อน
สาขาวิชา พืชศาสตร์
ปีการศึกษา 2559

บทคัดย่อ

การเสื่อมคุณภาพและอายุวางจำหน่ายสั้นเป็นปัญหาสำคัญของมะนาวหลังเก็บเกี่ยว โดยผลมะนาวที่เสื่อมสภาพจะมีการเปลี่ยนสีจากเขียวเป็นเหลือง เนื่องจากเกิดการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ ดังนั้น การทดลองในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อชะลอการเสื่อมสภาพหรือยืดอายุการวางจำหน่ายและเก็บรักษาของมะนาวพันธุ์แป้น โดยการใช้สารเคลือบจากว่านหางจระเข้และสารควบคุมการเจริญเติบโต 3 ชนิด ได้แก่ กรดจิบเบอเรลลิค (GA_3) กรดซาลิไซลิก (SA) และเมธิล-ไซโคลโพรพีน (1-MCP) แบ่งออกเป็น 5 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของสารเคลือบจากว่านหางจระเข้ต่ออายุการวางจำหน่ายของมะนาว ประกอบด้วย 6 ทรีทเมนต์ คือ การเคลือบผลมะนาวด้วยสารเคลือบผิวว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 0 10 25 50 75 และ 100 % ผลการทดลองพบว่า สารเคลือบผิวว่านหางจระเข้ 50 % ให้ผลดีที่สุด โดยมีอายุการวางจำหน่าย 16 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับผลมะนาวที่ไม่ได้เคลือบที่มีอายุวางจำหน่าย 6 วัน ซึ่งสอดคล้องกับการชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือก (ค่า hue angle) และชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า L* a* และ b* แต่ทุกทรีทเมนต์ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก ปริมาณน้ำคั้น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA) และอัตราส่วนของ TSS:TA การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของสารละลาย SA ต่ออายุการวางจำหน่ายของมะนาว ประกอบด้วย 6 ทรีทเมนต์ คือ สารละลาย SA ความเข้มข้น 0 0.5 1 1.5 2 และ 2.5 mM ผลการทดลองพบว่า สารละลาย SA ทุกทรีทเมนต์ไม่มีผลต่ออายุการวางจำหน่าย เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก ปริมาณน้ำคั้น TSS TA และ TSS:TA การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของสารละลาย GA_3 ต่ออายุการวางจำหน่ายของมะนาว ประกอบด้วย 4 ทรีทเมนต์ คือ สารละลาย GA_3 ความเข้มข้น 0 100 200 และ 300 ppm ผลการทดลองพบว่า การจุ่มผลมะนาวในสารละลาย GA_3 300 ppm ให้ผลดีที่สุด โดยมีอายุการวางจำหน่าย 17 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับผลมะนาวชุดควบคุมที่มีอายุวางจำหน่าย 12 วัน ซึ่งสอดคล้องกับการชะลอการเปลี่ยนแปลงสีหรือค่า hue angle และชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า L* a* และ b* แต่ทุกทรีทเมนต์ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก ปริมาณน้ำคั้น TSS TA และ TSS:TA การทดลองที่ 4 ศึกษาผลของการรม 1-MCP

ต่ออายุการวางจำหน่ายมะนาว ประกอบด้วย 4 ทรีทเมนต์ คือ การรม 1-MCP ความเข้มข้น 0 250 500 750 และ 1000 ppb ผลการทดลองพบว่า ความเข้มข้นที่ได้ผลดีที่สุดของการรม 1-MCP คือ 750 ppb โดยมะนาวมีอายุการวางจำหน่าย 20 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับผลมะนาวชุดควบคุมที่มีอายุวางจำหน่าย 9 วัน ซึ่งสอดคล้องกับการชะลอการเปลี่ยนแปลงสีหรือค่า hue angle และชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า L* a* และ b* แต่ทุกทรีทเมนต์ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก ปริมาณน้ำคั้น TSS TA และ TSS:TA การทดลองที่ 5 ศึกษาผลของสารเคลือบว่านหางจระเข้ GA_3 และ 1-MCP ต่อการเก็บรักษาผลมะนาวที่อุณหภูมิโดยรอบและอุณหภูมิต่ำ (10 °C) ประกอบด้วย 5 ทรีทเมนต์ คือ 1) ชุดควบคุม 2) สารเคลือบว่านหางจระเข้ 50 % 3) สารละลาย GA_3 ความเข้มข้น 300 ppm 4) สารเคลือบว่านหางจระเข้ร่วมกับ GA_3 5) สาร 1-MCP ความเข้มข้น 750 ppb และ 6) สารเคลือบว่านหางจระเข้ร่วมกับ 1-MCP ผลการศึกษาพบว่า ที่อุณหภูมิโดยรอบ ทรีทเมนต์ที่สามารถเก็บรักษาผลมะนาวได้นานที่สุด คือ การรม 1-MCP เพียงอย่างเดียว โดยสามารถเก็บรักษามะนาวได้นาน 25 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับมะนาวชุดควบคุมที่มีอายุการเก็บรักษา 17 วัน โดยสอดคล้องกับการชะลอการเปลี่ยนแปลงสี แต่ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก TSS TA และ TSS:TA อย่างไรก็ตาม ผลมะนาวที่ได้รับ 1-MCP มีปริมาณน้ำคั้นสูงสุด แต่มีปริมาณวิตามินซีน้อยกว่ามะนาวที่ไม่ได้รม 1-MCP นอกจากนี้ การรมมะนาวด้วย 1-MCP ไม่มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ ส่วนกิจกรรมเอนไซม์ chlorophyllase และ pheophytinase มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และไม่สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงสี ในขณะที่การเก็บรักษามะนาวที่อุณหภูมิต่ำ วิธีที่ทำให้เก็บรักษาผลมะนาวได้นานที่สุด คือ การรมสาร 1-MCP ร่วมกับการเคลือบผิว โดยสามารถเก็บรักษามะนาวได้นาน 10 สัปดาห์ เมื่อเปรียบเทียบกับมะนาวชุดควบคุมที่มีอายุการเก็บรักษา 3 สัปดาห์ โดยสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงสี แต่ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก TSS วิตามินซี และปริมาณคลอโรฟิลล์ แต่มีปริมาณ TA น้อยกว่ามะนาวชุดควบคุม อย่างไรก็ตาม ผลมะนาวที่รม 1-MCP ร่วมกับเคลือบผิวมี TSS:TA มากกว่ามะนาวที่ไม่ได้รมสาร นอกจากนี้ ไม่พบความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมเอนไซม์ chlorophyllase ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่กิจกรรมเอนไซม์ pheophytinase มีแนวโน้มลดลง

Thesis Title	Effects of *Aloe vera* Coating and Plant Growth Regulators on Storage life Prolonging of Lime (*Citrus aurantifolia* Swingle cv. Pan)
Author	Miss Chompunut Buapuean
Mejor Program	Plant Science
Academic Year	2016

Abstract

In postharvest lime (*Citrus aurantifolia* Swingle), quality deterioration and short shelf-life is a major problem. The coloration of senesced lime from green to yellow which due to chlorophyllase breakdown. Therefore, this experiment aimed to delay senescence process or prolong shelf-life and storage life of lime cv. Pan using *Aloe vera* coating and three plant growth regulators, i.e. gibberellic acid (GA_3), salicylic acid (SA) and 1-methylcyclopropene (1-MCP). There were five experiments. Experiment I, effect of concentrations of *Aloe vera* coating on shelf life of lime were studied. The experiment consisted of six treatments, i.e. lime fruit were coated with 0, 10, 25, 50, 75 and 100 % *Aloe vera* coating. The result showed 50 % *Aloe vera* coating was the most effective treatment to prolong shelf-life, 16 day, when compared with control, 6 days, which according to delaying peel coloration (hue angle) and increase of L*, a* and b*. However, all treatments had no effect on weight loss, juice content, total soluble solid (TSS), titratable acid (TA) and TSS:TA ratio. Experiment II, effect of SA concentrations on shelf life of lime were studied. The experiment comprised of six treatments, i.e. lime fruits were soaked in 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 and 2.5 mM. The results showed all SA concentrations did not effect on shelf life, weight loss, juice content, TSS, TA and TSS:TA ratio. Experiment III, effect of GA_3 concentrations on shelf life of lime were performed. There were four treatment, i.e. 0, 100, 200 and 300 ppm. The results showed dipping lime in 300 ppm GA_3 was the most effect treatment to prolong shelf life, 17 day, when compared with control, 12 days, which according to delaying peel coloration (hue angle, L*, a*, and b*). However, all GA_3 concentrations had no effect on weight loss, juice content, TSS, TA and TSS:TA ratio. Experiment IV, effect of 1-MCP fumigation on shelf life of lime were studied. There were five treatments, i.e. 1-MCP fumigation at concentration 0, 250, 500, 750 and 1,000 ppb. The results showed fumigation lime with

750 ppb 1-MCP was the most effective treatment to prolong shelf life, 20 day, comparing with control, 9 days, which according to delaying coloration, a decrease of hue angle and an increase of L*, a* and b*. However, all concentrations of 1-MCP fumigation had no effect on weight loss, juice content, TSS, TA and TSS:TA. Experiment V, effect of *Aloe vera* coating, GA_3 and 1-MCP on storage life of lime at ambient temperature and low temperature (10 °C) were studied. There were five treatments, i.e. 1) control, 2) 50 % *Aloe vera* coating, 3) 300 ppm GA_3, 4) GA_3 + *Aloe vera* coating, 5) 750 ppb 1-MCP and 6) 1-MCP + *Aloe vera* coating. It was found that 1-MCP fumigation was the most effective treatment to prolong storage life of lime at ambient temperature for 25 days when compared to control, 17 days. This results agreed with delaying coloration, but 1-MCP fumigation did not effect on weight loss, TSS, TA and TSS:TA. The 1-MCP treated lime had the highest of juice content, but vitamin C was lower than that in untreated fruit. In addition, 1-MCP fumigation had no effect on chlorophyllase content. Enzyme activity of chlorophyllase and pheophytinase increased, but there were no significant difference among treatments and did not relate to coloration. At low temperature, the most effective method to prolong storage life was 1-MCP fumigation + *Aloe vera* coating , 10 weeks, when compared to control, 3 weeks. This result agreed with coloration delaying, but 1-MCP fumigation + *Aloe vera* coating had no effect on weight loss, TSS, vitamin C and chlorophyll content. However, TA of treated lime was lower than untreated control. Lime fumigated with 1-MCP + *Aloe vera* coating had TSS:TA higher than control. In addition, chlorophyllase activity increased, while pheophytinase decreased, but there were no significant difference among treatments.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือและความอนุเคราะห์ของ ผศ.ดร.ลดาวัลย์ เลิศเลอวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ช่วยเหลือในหลาย ๆ ด้าน ทั้งให้คำปรึกษาทางด้านการเรียน ความรู้ ในการแก้ปัญหาด้านงานวิจัย และหาทุนสนับสนุนด้านงานวิจัย รวมทั้งให้คำปรึกษาด้านการใช้ชีวิต การเข้าสังคม การอยู่ร่วมกันกับผู้อื่น ฝึกให้มีความอดทนและมีระเบียบวินัย รู้จักการวางแผนการทำงาน ตลอดจนการตรวจสอบแก้ไขเล่มวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงจนเล่มวิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์ ขอขอบพระคุณ อ.ดร.อดิเรก รักคง ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.สมัคร แก้วสุกแสง และ ผศ.ดร.กนกพร บุญญะอติชาติ กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนในการวิจัยจากสถานวิจัยความเป็นเลิศเทคโนโลยีชีวภาพเกษตรและทรัพยากรธรรมชาติ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ทุนผู้ช่วยวิจัยจากศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และขอขอบคุณความอนุเคราะห์ในการทำวิจัยจากห้องปฏิบัติการของภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ

ขอขอบคุณคณาจารย์ในคณะทรัพยากรธรรมชาติทุกท่านที่ให้ความรู้ ขอบคุณเจ้าหน้าที่ที่ให้การช่วยเหลือในเรื่องต่าง ๆ ขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ในแลปรวมทั้งเพื่อนปริญญาโท ที่ให้ความช่วยเหลือทุก ๆ ด้าน และให้กำลังใจในการทำวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ พ่อ แม่ น้า และทุกคนในครอบครัว เป็นอย่างสูงที่ให้การสนับสนุนในการศึกษาและเป็นกำลังใจให้เสมอมาจนสำเร็จการศึกษาปริญญาโท

ชมพูนุท บัวเผื่อน

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อ		(5)
Abstract		(7)
กิตติกรรมประกาศ		(9)
สารบัญ		(10)
รายการตาราง		(11)
รายการภาพประกอบ		(12)
ลักษณะคำย่อและตัวย่อ		(15)
หนังสือตอบรับตีพิมพ์		(16)
บทที่ 1		1
บทนำต้นเรื่อง		1
วัตถุประสงค์		3
บทที่ 2		4
การทดลองที่ 1	ผลของสารเคลือบผิวว่านหางจระเข้ต่อการยืดอายุการเก็บรักษามะนาวหลังการเก็บเกี่ยว	4
การทดลองที่ 2	ผลของการใช้ SA ต่อการยืดอายุการเก็บรักษามะนาวหลังการเก็บเกี่ยว	16
การทดลองที่ 3	ผลของการใช้สารละลาย GA_3 ต่อการยืดอายุการเก็บรักษามะนาวหลังการเก็บเกี่ยว	26
การทดลองที่ 4	ผลของการใช้ 1-MCP ต่อการยืดอายุการเก็บรักษามะนาวหลังการเก็บเกี่ยว	36
การทดลองที่ 5	ผลของสารเคลือบผิวว่านหางจระเข้ GA_3 และสาร 1-MCP ต่ออายุการเก็บรักษาปริมาณคลอโรฟิลล์ และกิจกรรมของเอนไซม์ในกระบวนการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ของมะนาวหลังการเก็บเกี่ยว	46
บทที่ 3 สรุป		76
เอกสารอ้างอิง		80
ผลงานตีพิมพ์		85
ประวัติผู้เขียน		90

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ผลของสารเคลือบผิวว่านหางจระเข้ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ปริมาณน้ำคั้น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้และอัตราส่วน TSS:TA	13
2.2	ผลของกรดซาลิไซลิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ต่ออายุการเก็บรักษา ปริมาณน้ำคั้น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้และอัตราส่วนTSS:TA	23
2.3	ผลของสารละลาย GA_3 ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ปริมาณน้ำคั้น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้และอัตราส่วน TSS:TA	33
2.4	ผลของ 1-MCP ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อปริมาณน้ำคั้น ปริมาณ TSS ปริมาณ TA และอัตราส่วน TSS:TA	43
2.5	ผลของทรีทเมนต์ที่ความเข้มข้นที่เหมาะสม ปริมาณน้ำคั้น ปริมาณ TSS ปริมาณ TA อัตราส่วน TSS:TA และปริมาณวิตามินซีที่อุณหภูมิ 26.4 ± 1 ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 64.4 ± 7.4 %	58
2.6	ผลของทรีทเมนต์ที่ความเข้มข้นที่เหมาะสม ปริมาณน้ำคั้น ปริมาณ TSS ปริมาณ TA อัตราส่วน TSS:TA และปริมาณวิตามินซีที่อุณหภูมิ 9.9 ± 0.4 ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 71.6 ± 2.7 %	68

รายการภาพประกอบ

ภาพที่		หน้า
2.1	การเปลี่ยนแปลงค่า Hue angle (ก) และค่าคะแนนการเสื่อมสภาพ (ข) ของมะนาวภายหลังการเคลือบผิวมะนาวด้วยว่านหางจระเข้และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 33 ± 2 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 59.5 ± 4 %	9
2.2	การเปลี่ยนแปลงสีจากเขียวเป็นเหลืองของผลมะนาวในวันที่เคลือบผิว (ก) ผลมะนาวในชุดควบคุมมีคะแนนการเสื่อมสภาพที่ระดับ 3 (ข)	10
2.3	ค่าสี L* (ก) a* (ข) และ b* (ค) ของมะนาวหลังจากที่เคลือบผิวผลด้วยว่านหางจระเข้และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 33 ± 2 ºC	11
2.4	การสูญเสียน้ำหนักของมะนาวหลังจากที่เคลือบผิวด้วยว่านหางจระเข้และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 33 ± 2 ºC	12
2.5	การเปลี่ยนแปลงค่า Hue angle และค่าคะแนนการเสื่อมสภาพของมะนาวหลังจากที่แช่ผลมะนาวด้วยสารละลายกรดซาลิไซลิกและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 32 ± 1.5 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 62.7 ± 7.2 %	19
2.6	การเปลี่ยนแปลงสีจากเขียวเป็นเหลืองของผลมะนาวในวันที่แช่กรดซาลิ-ไซลิก (ก) ผลมะนาวในชุดควบคุมมีคะแนนการเสื่อมสภาพที่ระดับ 3 (ข)	20
2.7	ค่าสี L* (ก) a* (ข) และ b* (ค) ของมะนาวหลังจากที่แช่ผลมะนาวด้วยสารละลายกรดซาลิไซลิกและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 32 ± 1.5 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 62.7 ± 7.2 %	21
2.8	การสูญเสียน้ำหนักของมะนาวหลังจากที่แช่ผลมะนาวด้วยสารละลายกรดซาลิไซลิกและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 32 ± 1.5 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 62.7 ± 7.2 %	22
2.9	การเปลี่ยนแปลงค่า Hue angle และค่าคะแนนการเสื่อมสภาพของผลมะนาวหลังแช่ด้วยสารละลาย GA_3 และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 27.4 ± 1.1 ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 81.6 ± 7.3 %	29
2.10	การเปลี่ยนแปลงสีจากเขียวเป็นเหลืองของผลมะนาวในวันที่แช่สารละลาย GA_3 (ก) ผลมะนาวในชุดควบคุมมีคะแนนการเสื่อมสภาพที่ระดับ 3 (ข)	30
2.11	ค่าสี L* (ก) a* (ข) และ b* (ค) ของมะนาวหลังจากที่แช่ด้วยสารละลาย GA_3 และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 27.4 ± 1.1 ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 81.6 ± 7.3 %	31

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
2.12	การสูญเสียน้ำหนักของมะนาวหลังจากที่แช่ด้วยสารละลาย GA_3 และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 27.4 ± 1.1 ºC	32
2.13	การเปลี่ยนแปลงค่า Hue angle และค่าคะแนนการเสื่อมสภาพของมะนาวของมะนาวหลังจากที่รมผลมะนาวด้วย 1-MCP และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 26.2 ± 1.4 ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 82.7 ± 9.5 %	39
2.14	การเปลี่ยนแปลงสีจากเขียวเป็นเหลืองของผลมะนาวในวันที่รมสาร 1-MCP (ก) ผลมะนาวในชุดควบคุมมีคะแนนการเสื่อมสภาพที่ระดับ 3 (ข)	40
2.15	ค่าสี L* (ก) a* (ข) และ b* (ค) ของมะนาวหลังจากที่รมผลมะนาวด้วย 1-MCP และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 26.2 ± 1.4 ºc ความชื้นสัมพัทธ์ 82.7 ± 9.5 %	41
2.16	การสูญเสียน้ำหนักของมะนาวหลังจากที่รมด้วย 1 – MCP และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 26.2 ± 1.4 ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 82.7 ± 9.5 %	42
2.17	การเปลี่ยนแปลงค่า Hue angle และค่าคะแนนการเสื่อมสภาพของมะนาวหลังจากที่ให้ทรีทเมนต์ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 26.4 ± 1 ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 64.4 ± 7.4 %	54
2.18	การเปลี่ยนแปลงสีจากเขียวเป็นเหลืองของผลมะนาวในวันที่แช่ว่านหางจระเข้ร่วมกับสารควบคุมการเจริญเติบโต (ก) ผลมะนาวในชุดควบคุมมีคะแนนการเสื่อมสภาพที่ระดับ 3 (ข)	55
2.19	ค่าสี L* (ก) a* (ข) และ b* (ค) ของมะนาวหลังจากที่ให้ทรีทเมนต์ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 26.4 ± 1 ºCความชื้นสัมพัทธ์ 64.4 ± 7.4 %	56
2.20	การสูญเสียน้ำหนักของมะนาวหลังจากที่ให้ทรีทเมนต์ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 26.4 ± 1 ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 64.4 ± 7.4 %	57
2.21	ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดจากเปลือกมะนาวหลังจากให้ทรีทเมนต์ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 26.4 ± 1 ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 64.4 ± 7.4 %	60

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
2.22	กิจกรรมของเอนไซม์ chlorophyllase จากเปลือกมะนาวหลังจากให้ทรีท-เมนต์ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 26.4 ± 1 ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 64.4 ± 7.4 %	61
2.23	กิจกรรมของเอนไซม์ pheophytinase จากเปลือกมะนาวหลังจากให้ทรีท-เมนต์ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 26.4 ± 1 ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 64.4 ± 7.4 %	62
2.24	การเปลี่ยนแปลงค่า Hue angle และค่าคะแนนการเสื่อมสภาพของมะนาวหลังจากที่ให้ทรีทเมนต์ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 9.9 ± 0.4ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 71.6 ± 2.7 %	64
2.25	การเปลี่ยนแปลงสีจากเขียวเป็นเหลืองของผลมะนาวในวันที่แช่ว่านหางจระเข้ร่วมกับสารควบคุมการเจริญเติบโต (ก) ผลมะนาวในชุดควบคุมมีคะแนนการเสื่อมสภาพที่ระดับ 3 (ข)	65
2.26	ค่าสี L* (ก) a* (ข) และ b* (ค) ของมะนาวหลังจากที่ให้ทรีทเมนต์ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 9.9 ± 0.4ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 71.6 ± 2.7 %	66
2.27	การสูญเสียน้ำหนักของมะนาวหลังจากที่ให้ทรีทเมนต์ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 9.9 ± 0.4 ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 71.6 ± 2.7 %	67
2.28	ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดจากเปลือกมะนาวหลังจากให้ทรีทเมนต์ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 9.9 ± 0.4 ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 71.6 ± 2.7 %	70
2.29	กิจกรรมของเอนไซม์ chlorophyllase จากเปลือกมะนาวหลังจากให้ทรีท-เมนต์ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 9.9 ± 0.4 ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 71.6 ± 2.7 %	71
2.30	กิจกรรมของเอนไซม์ pheophytinase จากเปลือกมะนาวหลังจากให้ทรีท-เมนต์ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 9.9 ± 0.4 ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 71.6 ± 2.7 %	72

ลักษณะคำย่อและตัวย่อ

%	=	เปอร์เซ็นต์
μg	=	ไมโครกรัม
μLL^{-1}	=	ไมโครลิตรต่อลิตร
μM	=	ไมโครโมล
1-MCP	=	1-methylcyclopropene
cm	=	เซนติเมตร
FW	=	fresh weight
g	=	กรัม
GA_3	=	gibberellic acid
gL^{-1}	=	กรัมต่อลิตร
kg	=	กิโลกรัม
L	=	ลิตร
mlL^{-1}	=	มิลลิลิตรต่อลิตร
mM	=	มิลลิโมลาร์
N	=	normal
NaOH	=	sodium hydroxide
nM	=	นาโนเมตร
^oC	=	องศาเซลเซียส
ppb	=	part per billion
ppm	=	part per million
SA	=	salicylic acid

หนังสือตอบรับตีพิมพ์

เรียน ผู้ส่งผลงานทางวิชาการร่วมการประชุมวิชาการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวแห่งชาติ ครั้งที่ ๑๒

ตามที่ท่านได้ส่งผลงานเพื่อเสนอในการประชุมวิชาการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวแห่งชาติ ครั้งที่ ๑๒

บัดนี้คณะกรรมการวิชาการ ได้ส่งผลงาน (บทคัดย่อ) ของท่านให้ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณา โดยมีผลการพิจารณา ดังนี้

☒ ตอบรับ

☐ ภาคบรรยาย (oral presentation)

☒ ภาคนิทัศน์ (poster presentation)

ทั้งนี้ท่านต้องแก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิดังรายละเอียดไฟล์แนบ และจัดรูปแบบตามเงื่อนไขที่กำหนด แล้วส่งกลับคืนมายังคณะผู้จัดการประชุมฯ ที่ e-mail: postcmu2014@gmail.com ในรูปของ word file ภายในวันที่ **๑๕ มิถุนายน พ.ศ. ๒๕๕๗ เวลา ๑๖.๐๐ น.**

และเพื่อความสะดวกในการติดต่อผู้ส่งผลงาน กรุณาแจ้ง e-mail address และหมายเลขโทรศัพท์ที่สะดวกในการติดต่อ และโปรดลงทะเบียนและชำระค่าลงทะเบียนภายในระยะเวลาที่กำหนด (ก่อน ๓๐ มิถุนายน ๒๕๕๗)

ขอแสดงความนับถือ

คณะผู้จัดการประชุมวิชาการฯ

บทที่ 1
บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

มะนาว (*Citrus aurantifolia* Swingle.) เป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญที่ตลาดมีความต้องการสูงตลอดทั้งปี ในปี พ.ศ. 2558 ประเทศไทยมีการผลิตมะนาวโดยพบว่ามีเนื้อที่ให้ผลรวมทั้งประเทศจำนวน 101,000 ไร่ ผลผลิต 151,100 ตัน มีมูลค่า 9,296 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2558) ซึ่งภายหลังการเก็บเกี่ยวมะนาวจะมีการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตอย่างรวดเร็ว โดยเกิดการเปลี่ยนสีคือสีเขียวจะหายไปและปรากฏสีเหลืองขึ้นมาแทน (จริงแท้, 2541; 2553) ทำให้ไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค และส่งผลทำให้มะนาวมีอายุการเก็บรักษาสั้น สีเปลือกเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองเกิดจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ ซึ่งเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ในกระบวนการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ที่สำคัญ 2 ชนิด คือ chlorophyllase และ pheophytinase (จริงแท้, 2541; 2553) จากปัญหาดังกล่าวจึงจำเป็นมีการใช้วิธีการต่าง ๆ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษามะนาวหลังการเก็บเกี่ยวเช่น การใช้สารเคลือบผิว (จริงแท้, 2541) การใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตพืช (พีรเดช, 2537) หรือการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (จริงแท้, 2541) เป็นต้น

การใช้สารเคลือบผิวว่านหางจระเข้ได้รับความสนใจในการนำมาใช้เพื่อคงคุณภาพของผักผลไม้หลายชนิดหลังเก็บเกี่ยว เนื่องจากมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค (Sharma and Gautam, 2013) โดยสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลไม้หลายชนิด (Muhammad *et al.,* 2009; Adetunji *et al.,* 2012; Athmaselvi *et al.,* 2013; Marpudi *et al.,* 2013) ชะลอการเปลี่ยนแปลงสี (Ergun and Satici, 2012) ชะลอการอ่อนนุ่ม (Muhammad *et al.,* 2009) ในขณะเดียวกันยังลดอัตราการหายใจ (Muhammad *et al.,* 2009) ลดการสูญเสียน้ำหนัก (Muhammad *et al.,* 2009; Ergun and Satici, 2012; Marpudi *et al.,* 2013) และชะลอการเกิดสีน้ำตาลและลดการแพร่กระจายของเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค (Kumar and Bhatnagar, 2014; Chauhan *et al.,* 2015) สำหรับว่านหางจระเข้ ประกอบด้วยส่วนที่เป็นยางเหลือง (exudate) และเจลใส (mucilage) ที่มีองค์ประกอบของโพลีแซคคาไรด์ และเมื่อนำมาเป็นสารเคลือบจะทำหน้าที่เป็นตัวกั้นการผ่านของออกซิเจนและความชื้นซึ่งเป็นสาเหตุเร่งให้เกิดการเสื่อมสภาพของอาหาร (Athmaselvi *et al.,* 2013) นอกจากนี้ในว่านหางจระเข้ยังมีส่วนประกอบของไกลโคโปรตีน สารประกอบฟีนอล ฮอร์โมน วิตามิน และเอนไซม์ที่ให้ประโยชน์อีกหลายชนิด (Kumar and Bhatnagar, 2014) จากคุณสมบัติดังกล่าวสารเคลือบผิวจากว่านหางจระเข้ จึงถูกนำมาใช้ในการยืดอายุการวางจำหน่ายและเก็บรักษาในผลิตผลหลายชนิด

การใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตกับผลิตผลหลังเก็บเกี่ยวเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่มีวัตถุประสงค์เพื่อชะลอการเสื่อมสภาพและคงคุณภาพในระหว่างเก็บรักษา เช่น กรดซาลิไซลิก (salicylic acid, SA) ที่มีบทบาทสามารถยับยั้งการสังเคราะห์และการทำงานของเอทิลีน (Raskin, 1992) จึงทำให้กรดซาลิไซลิกเป็นสารที่ถูกนำมาใช้ในการลดการสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยวในพืชสวนหลายชนิด (Asghari and Aghdam, 2010) เช่น กล้วย กีวี่ (Srivastava and Dwivedi, 2000) ส้ม (Huang *et al.,* 2008) นอกจากนี้ สารควบคุมการเจริญเติบโตพืชที่นิยมนำมาใช้อีกตัวหนึ่งคือ กรดจิบเบอเรลลิค (gibberellic acid, GA_3) เป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ที่สามารถชะลอการเสื่อมสภาพของพืช ชะลอการเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง และยังพบว่าการใช้กรดจิบเบอเรลลิคให้ผลดังกล่าว โดยไปลดการสร้างเอทิลีน (จริงแท้, 2541;2553) จึงมีผลต่อการยืดอายุของผลไม้ ทำให้ผลไม้มีอัตราการหายใจช้าลง ชะลอการเปลี่ยนแปลงสีผล ปัจจุบันจึงนิยมใช้กรดจิบเบอเรลลิคชะลอการเสื่อมสภาพในพืชตระกูลส้มหลังการเก็บเกี่ยว ทำให้มีการเกิดการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ช้าลง ส่งผลให้การสังเคราะห์คาโรทีนอยด์เกิดช้าลง จึงสามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น (ดนัย, 2534) สำหรับสาร 1-methylcyclopropene (1-MCP) มีสถานะเป็นแก๊สและสูตรโครงสร้างทางเคมีคือ C_4H_6 ซึ่งคล้ายกับเอทิลีน (C_2H_4) จึงมีคุณสมบัติในการยับยั้งการทำงานของเอทิลีนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสาร 1-MCP สามารถทำงานได้ในความเข้มข้นต่ำมาก โดยไปจับกับตัวรับเอทิลีนได้มากกว่าเอทิลีนถึง 10 เท่า เอทิลีนจึงไม่สามารถทำงานได้ (Blankenship and Dole, 2003) สาร 1-MCP ถูกนำมาใช้ในการรักษาความสดของผัก ผลไม้ ดอกไม้และยืดอายุการวางจำหน่ายของผลิตผลได้ ไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (สายชล, 2555) ที่ผ่านมามีการใช้ 1-MCP ในผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวหลายชนิดทั้งประเภท climacteric และ non-climacteric สำหรับมะนาวซึ่งเป็นผลไม้ที่อยู่ในพืชตระกูลส้มมีลักษณะการสุกแก่ของผลประเภท non-climacteric (สมโภชน์, 2540)

อย่างไรก็ตาม ที่ผ่านมายังไม่เคยมีการศึกษาเกี่ยวกับการนำสารเคลือบผิวว่านหางจระเข้มาใช้ในการยืดอายุหลังเก็บเกี่ยวของมะนาว รวมทั้งยังไม่เคยมีการศึกษาการใช้ร่วมกับสารควบคุมการเจริญเติบโตดังกล่าวข้างต้น ดังนั้น การศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีการยืดอายุการเก็บรักษาและการคงรักษาคุณภาพของมะนาวหลังการเก็บเกี่ยว โดยการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตได้แก่ SA GA_3 และ 1-MCP ร่วมกับสารเคลือบผิวจากว่านหางจระเข้ รวมทั้งศึกษาผลของวิธีการดังกล่าวต่อการเปลี่ยนแปลงของเอนไซม์สำคัญในกระบวนการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ของมะนาวพันธุ์แป้น

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของสารเคลือบผิวว่านหางจระเข้ SA GA_3 และ 1-MCP ต่อการยืดอายุการเก็บรักษาและคุณภาพผล ปริมาณคลอโรฟิลล์ และเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ของมะนาวพันธุ์แป้นในระหว่างการเก็บรักษาในสภาพอุณหภูมิโดยรอบและที่อุณหภูมิต่ำ

บทที่ 2

การทดลองที่ 1
ผลของสารเคลือบผิวว่านหางจระเข้ต่อการยืดอายุการเก็บรักษามะนาว หลังการเก็บเกี่ยว

บทนำ

ปัญหาการเสื่อมสภาพของมะนาวหลังการเก็บเกี่ยว คือมีอายุการเก็บรักษาสั้น โดยเปลือกผลจะปรากฏสีเหลืองขึ้นมาแทนสีเขียว ซึ่งไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค เร็ว ๆ นี้ ได้มีการนำสารเคลือบผิวชนิดต่าง ๆ มาใช้ในการเก็บรักษาในผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวหลายชนิดรวมทั้งว่านหางจระเข้ การใช้สารเคลือบผิวว่านหางจระเข้ได้รับความสนใจในการนำมาใช้เพื่อคงคุณภาพของผักผลไม้หลายชนิดหลังเก็บเกี่ยว เนื่องจากมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค (Sharma and Gautam, 2013) โดยสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลไม้หลายชนิด (Muhammad *et al.,* 2009; Adetunji *et al.,* 2012; Athmaselvi *et al.,* 2013; Marpudi *et al.,* 2013) เช่น สับปะรด (Adetunji *et al.,* 2012) ส้ม (Arowora *et al.,* 2012) องุ่น (Asghari *et al.,* 2013; Valverde *et al.,* 2005) ราสเบอร์รี่ (Hassanpour, 2015) เชอร์รี่หวาน (Martinez-Romero *et al.,* 2006) มะละกอ (Marpudi *et al.,* 2011) และมะเขือเทศ (Chauhan *et al.,* 2015) การยืดอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้นเป็นผลเนื่องมาจากสารเคลือบผิวว่านหางจระเข้มีผลชะลอการเปลี่ยนแปลงสี (Ergun and Satici, 2012) ชะลอการอ่อนนุ่ม (Muhammad *et al.,* 2009) ในขณะเดียวกันยังลดอัตราการหายใจ (Muhammad *et al.,* 2009) ลดการสูญเสียน้ำหนัก (Muhammad *et al.,* 2009; Ergun and Satici, 2012; Marpudi *et al.,* 2013) ชะลอการเกิดสีน้ำตาลและลดการแพร่กระจายของเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคหลังเก็บเกี่ยวได้ (Kumar and Bhatnagar, 2014; Chauhan *et al.,* 2015) สารเคลือบผิวว่านหางจระเข้จัดอยู่ในสารเคลือบผิวประเภทโพลิแซคคาไรด์ ที่ทำหน้าที่กั้นการผ่านเข้าออกของออกซิเจนและความชื้นที่เป็นสาเหตุให้เกิดการเสื่อมสภาพของผลผลิต (Athmaselvi *et al.,* 2013) สารสำคัญในว่านหางจระเข้ประกอบด้วยโพลีแซคคาไรด์ ไกลโคโปรตีน สารประกอบฟีอล กรดซาลิไซลิก ฮอร์โมนออกซินและจิบเบอ-เรลลิน ฯลฯ (Sharma and Gautam, 2013) ถึงแม้จะมีการศึกษาการใช้ว่านหางจระเข้เคลือบผิวผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยว เพื่อทำให้เก็บรักษาผลิตผลได้นานขึ้น อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการศึกษาในมะนาว ดังนั้น การทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสารเคลือบผิวว่านหางจระเข้ต่ออายุการเก็บรักษาและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพภายในของผลมะนาวพันธุ์แป้น

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุพืช

คัดเลือกมะนาวพันธุ์แป้นที่มีขนาดผลและผิวสีเขียวสม่ำเสมอจำนวน 60 ผล มาทำความสะอาดโดยแช่ในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ ความเข้มข้น 100 mlL^{-1} เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นแช่ในสารละลายยากันรานาน 10 นาที ผึ่งให้แห้ง แล้วนำมาเคลือบผิว

การเตรียมสารเคลือบผิวว่านหางจระเข้ทำตามวิธีการที่ดัดแปลงเล็กน้อยจาก He *et al.* (2005) โดยนำใบแก่ว่านหางจระเข้พันธุ์ยักษ์ (*Aloe barbadensis* Miller) จำนวน 3-4 ใบ น้ำหนัก 2-3 kg มาล้างทำความสะอาดด้วยคลอรีน 25 % ปอกเปลือกและแยกเอาเฉพาะส่วนเนื้อใส มาปั่นด้วยเครื่องปั่นจนละเอียด จากนั้นนำมากรองด้วยผ้าขาวบาง 2 ชั้น แล้วนำส่วนของเหลวที่กรองได้ไปอุ่นในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C นาน 45 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องจากนั้นเติมกรดแอสคอร์บิคปริมาตร 2 gL^{-1} แล้วตามด้วยกรดซิตริคปริมาตร 4.5 gL^{-1} ปรับ pH ของสารสกัดให้ได้เท่ากับ 4 ด้วย NaOH 5 N การสกัดแต่ละครั้งได้สารเคลือบว่านหางจระเข้ประมาณ 1 L

วิธีการศึกษา

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) ประกอบด้วย 6 ทรีทเมนต์ คือ การเคลือบผลมะนาวด้วยสารละลายว่านหางจระเข้ 6 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 10 25 50 75 และ 100 % ทำ 10 ซ้ำ ซ้ำละ 1 ผล นำมะนาวไปแช่ในสารเคลือบผิวว่านหางจระเข้ให้ทั่วทั้งผลนาน 30 นาที แล้วผึ่งให้แห้ง บรรจุบนถาดโฟมขนาด กว้าง 20 cm x ยาว 20 cm x สูง 2 cm หุ้มด้วยฟิล์มถนอมอาหาร เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง 33 ± 2 ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 59.5 ± 4 %

การบันทึกผล

บันทึกการเปลี่ยนแปลงของมะนาวภายหลังการเคลือบ ดังนี้

1. การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกทำการวัดสีเปลือกของผลมะนาวโดยใช้เครื่องวัดสี Konica Minolta CR 400 รายงานผลเป็นค่า Hue angle ค่า L* ค่า a* และค่า b*

- ค่า L* แสดงถึง ค่าความสว่าง มีค่า 0 - 100 ถ้าค่า L* มาก มีความสว่างมาก ถ้า L* น้อย มีความเข้มมาก
- ค่า a* แสดงถึง สีเขียว เมื่อเป็นค่า (-) และสีแดง เมื่อเป็นค่า (+)
- ค่า b* แสดงถึง สีน้ำเงิน เมื่อเป็นค่า (-) และสีเหลือง เมื่อเป็นค่า (+)

โดยทั้งค่า a* และ b* มีค่าอยู่ระหว่าง -60 ถึง +60

2. คะแนนการเสื่อมสภาพ การให้คะแนนกำหนดตามค่า Hue angle ดังนี้

Hue angle $\geq$ 123 ผิวสีเขียวทั้งผล หมายถึง 0 คะแนน

Hue angle 119.01 - 122.99 ผิวเปลือกมีสีเหลือง 10 % หมายถึง 1 คะแนน

Hue angle 115.01 - 119.00 ผิวเปลือกมีสีเหลือง 25 % หมายถึง 2 คะแนน

Hue angle 111.01 - 115.00 ผิวเปลือกมีสีเหลือง 50 % หมายถึง 3 คะแนน

3. อายุการเก็บรักษา กำหนดให้ผลมะนาวหมดอายุการเก็บรักษา ที่คะแนนการเสื่อมสภาพ 3 คะแนน

4. การสูญเสียน้ำหนัก ชั่งน้ำหนักผลมะนาวทุกวันและนำมาคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักตามสูตรดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก} = \frac{(\text{น้ำหนักเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักที่ชั่งได้})}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} \times 100$$

5. ปริมาณน้ำคั้น คั้นน้ำมะนาวใส่บีกเกอร์ขนาด 50 ml แล้วกรองด้วยผ้าขาวบาง หลังจากนั้นใส่ในกระบอกตวงเพื่อวัดปริมาตร และคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์น้ำคั้นจากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์น้ำคั้น} = \frac{\text{ปริมาณน้ำคั้น} \times 100}{\text{น้ำหนักมะนาวทั้งผล}}$$

6. ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (Titratable acidity; TA) นำน้ำคั้นมะนาวปริมาตร 3 ml มาไทเทรตด้วยสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 1 N โดยใช้สารละลาย phenolpthalein ความเข้มข้น 1 % ปริมาณ 1 - 2 หยด เป็นอินดิเคเตอร์ จนถึงจุดยุติหรือเมื่อสารละลายมีสีชมพูประมาณ 30 วินาที คำนวณปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในรูปของกรดซิตริก ดังนี้

$$\text{ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (\%)} = \frac{(\text{ความเข้มข้น NaOH} \times \text{ปริมาณ NaOH ที่ใช้ (ml)} \times 0.064 \times 100)}{\text{ปริมาณน้ำคั้นของตัวอย่าง (ml)}}$$

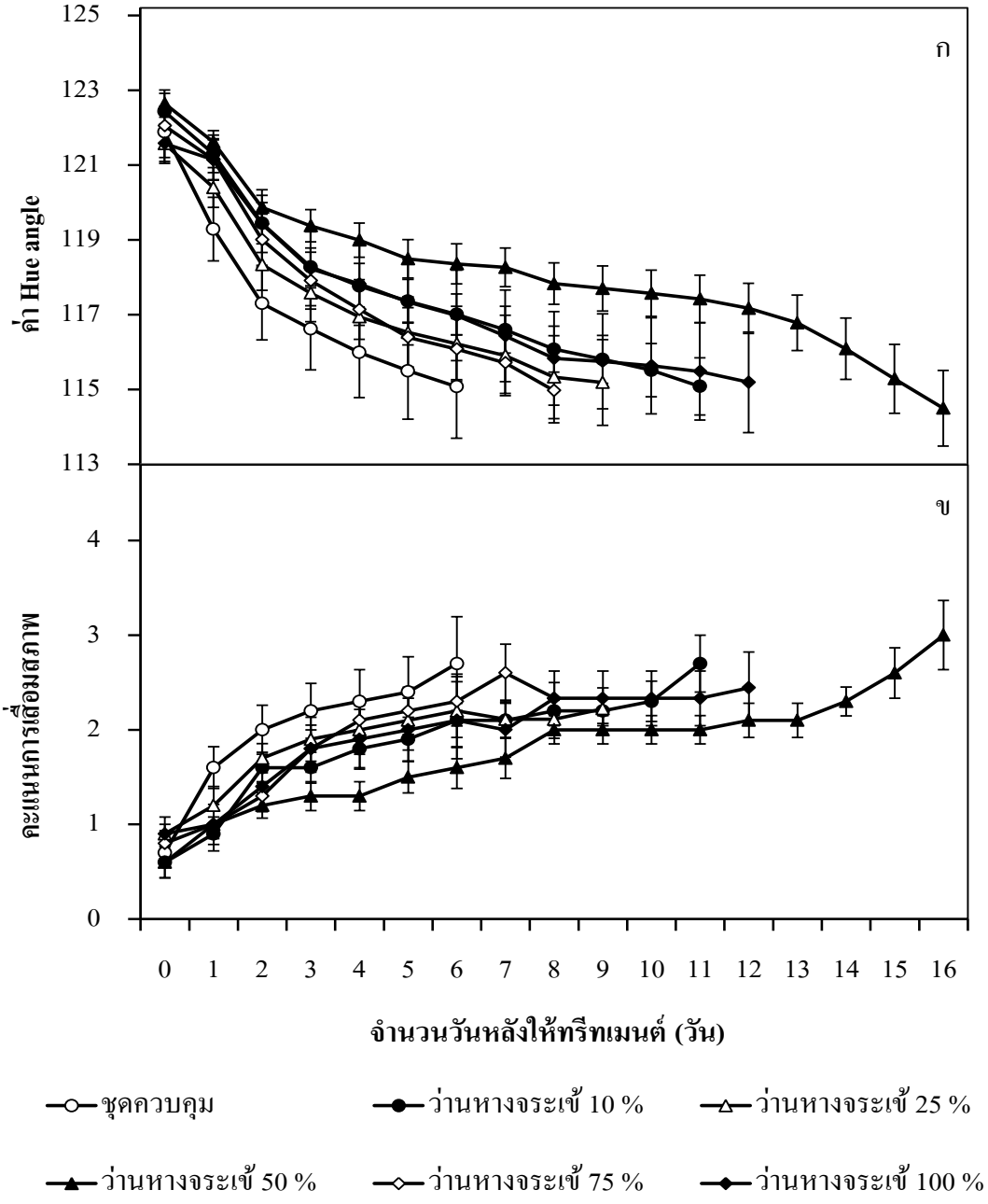
0.064 คือ จำนวนมิลลิลิตรสมมูลของกรดซิตริก

7. ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solid; TSS) นำน้ำคั้นมาวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ โดยใช้เครื่อง hand refractometer ค่าที่ได้มีหน่วยเป็นองศาบริกซ์ (^{o}Brix)

ผลการทดลอง

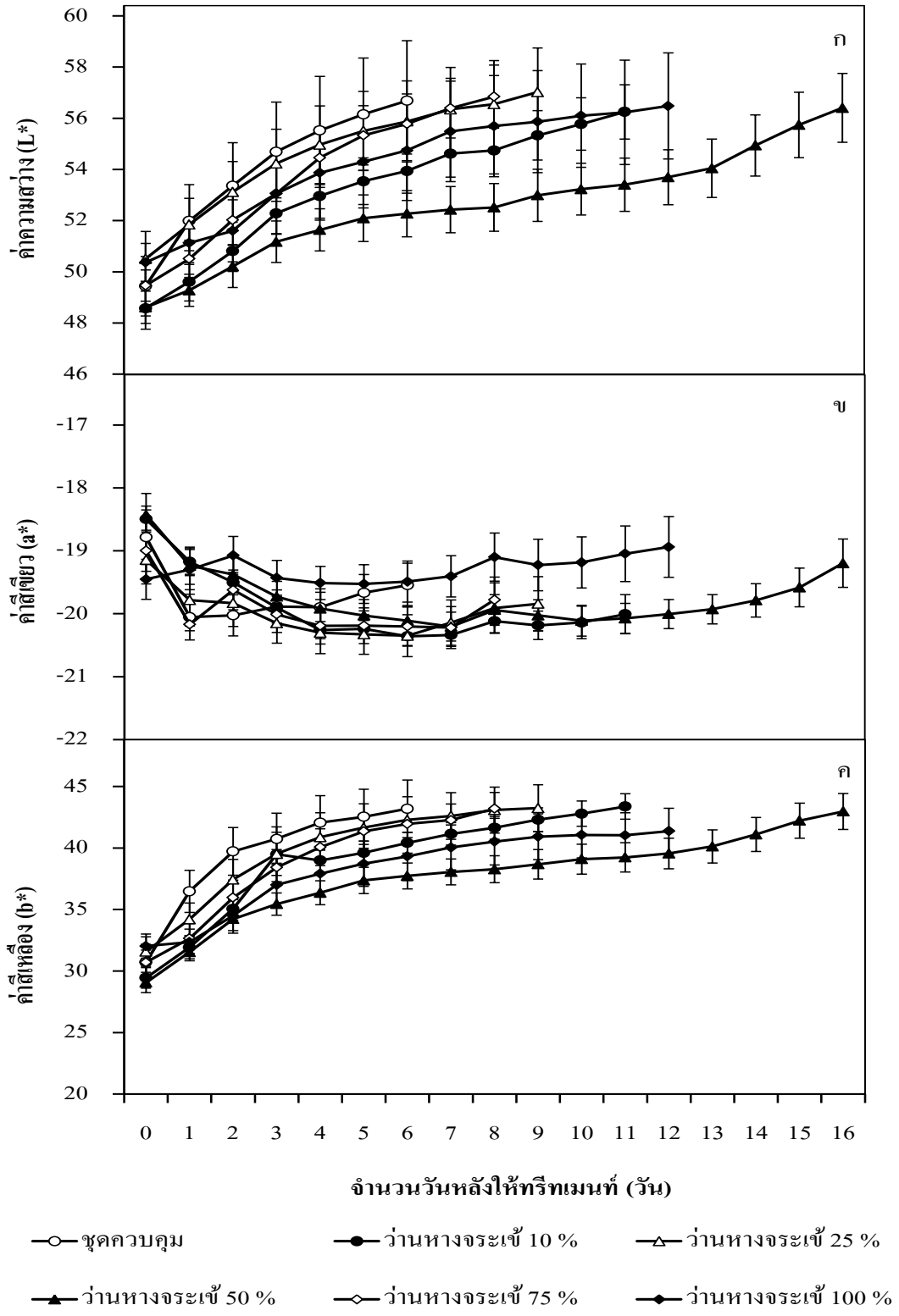
1. อายุการเก็บรักษาและการเปลี่ยนแปลงค่าสี

การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของมะนาวมีการเปลี่ยนแปลงจากสีเขียวไปเป็นสีเหลือง เมื่อมีระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น โดยเก็บที่อุณหภูมิห้อง 33 ± 2 ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 59.5 ± 4 % การทดลองนี้ใช้ค่า Hue angle เป็นเกณฑ์ในการกำหนดคุณภาพ และจากผลการทดลองพบว่า ค่า Hue angle มีการลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยมะนาวในชุดควบคุมมีค่า Hue angle น้อยกว่า และลดลงเร็วกว่าทุกทรีทเมนต์ และมีอายุการเก็บรักษาเพียง 6 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับมะนาวที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวว่านหางจระเข้ ทุกทรีทเมนต์สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกได้ และสารเคลือบผิวว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 50 % สามารถชะลอการลดลงของค่า Hue angle ได้ดีที่สุด (ภาพที่ 2.1 ก) โดยมีอายุการเก็บรักษาจนผลมะนาวมีคะแนนเสื่อมสภาพเท่ากับ 3 (ภาพที่ 2.2) นาน 16 วัน (ภาพที่ 2.1 ข) นอกจากนี้มะนาวที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 100 10 25 และ 75 % มีอายุการเก็บรักษา 12 11 9 และ 8 ตามลำดับ สอดคล้องกับค่า L* a* และ b* ที่พบว่า การเคลือบด้วยว่านหางจระเข้สามารถชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า L* a* และ b* ได้เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (ภาพที่ 2.3 ก ข และ ค)



ภาพที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงค่า Hue angle (ก) และค่าคะแนนการเสื่อมสภาพ (ข) ของมะนาวภายหลังการเคลือบผิวมะนาวด้วยว่านหางจระเข้และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 33 ± 2 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 59.5 ± 4 % เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (บาร์แนวตั้ง = ± SE)

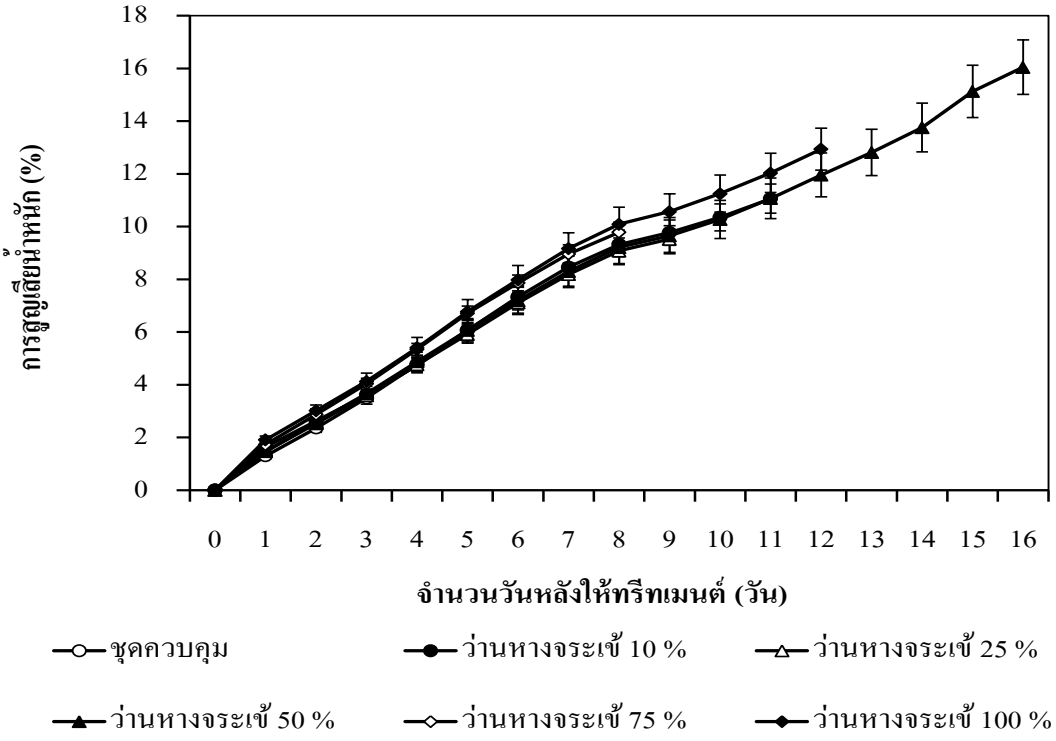
ภาพที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงสีจากเขียวเป็นเหลืองของผลมะนาวในวันที่เคลือบผิว (ก) ผลมะนาวในชุดควบคุมมีคะแนนการเสื่อมสภาพที่ระดับ 3 (ข)



ภาพที่ 2.3 ค่าสี L* (ก) a* (ข) และ b* (ค) ของมะนาวหลังจากที่เคลือบผิวผลด้วยว่านหางจระเข้และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 33 ± 2 ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 59.5 ± 4 % เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (บาร์แนวตั้ง = ± SE)

2. การสูญเสียน้ำหนัก

จากผลการศึกษา พบว่า มะนาวทุกทรีทเมนต์มีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตลอดการเก็บรักษา แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (ภาพที่ 2.4)



ภาพที่ 2.4 การสูญเสียน้ำหนักของมะนาวหลังจากที่เคลือบผิวด้วยว่านหางจระเข้และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 33 ± 2 ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 59.5 ± 4 % เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (บาร์แนวตั้ง = ± SE)

3. คุณภาพภายใน

การใช้สารเคลือบผิวว่านหางจระเข้ทุกความเข้มข้น พบว่าไม่มีผลต่อคุณภาพภายใน คือปริมาณน้ำคั้น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และอัตราส่วน TSS:TA (ตารางที่ 2.1)

ตารางที่ 2.1 ผลของสารเคลือบผิวว่านหางจระเข้ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ปริมาณน้ำคั้น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้และอัตราส่วน TSS:TA

ทรีทเมนต์	ปริมาณน้ำคั้น (%)	ปริมาณ TSS (^{o}Brix)	ปริมาณ TA (%)	อัตราส่วน TSS:TA
ชุดควบคุม (ไม่เคลือบผิว)	40.8	7.2	7.4	1.0
ว่านหางจระเข้ 10 %	37.8	7.5	7.0	1.1
ว่านหางจระเข้ 25 %	39.8	7.3	7.3	1.0
ว่านหางจระเข้ 50 %	33.3	7.6	7.2	1.1
ว่านหางจระเข้ 75 %	34.6	7.5	7.4	1.0
ว่านหางจระเข้ 100 %	37.7	7.5	6.9	1.1
F-test	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	22.8	7.26	10.87	19.83

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสารเคลือบผิวว่านหางจระเข้สามารถยืดอายุการเก็บรักษามะนาวได้ ในการทดลองพบว่า สารเคลือบผิวว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 50 % สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้มากที่สุด โดยชะลอการเปลี่ยนแปลงสี ซึ่งสอดคล้องกับชะลอการลดลงของค่า Hue angle และชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า L* a* และ b* เช่นเดียวกับกับ Arowora และคณะ (2012) ศึกษาการใช้สารเคลือบผิวว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 100 % ในส้มพันธุ์ 'Valencia' แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 °C พบว่าสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีผิวได้นานถึง 8 วัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในว่านหางจระเข้ มีสารสำคัญโดยเฉพาะฮอร์โมนจิบเบอเรลลิน (Sharma and Gautam, 2013) ซึ่งบทบาทของจิบเบอเรลลินที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีเขียวเป็นสีเหลืองช้าลง ชะลอการเปลี่ยนแปลงสีได้ เนื่องจากไปลดการสร้างเอทิลีน เมื่อเอทิลีนมีการทำงานได้น้อยลง จึงชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ได้ ทำให้ผลิตผลมีการเปลี่ยนแปลงสีช้าลง (จริงแท้, 2553)

จากผลการทดลองพบว่า ด้านการสูญเสียน้ำหนักไม่มีความแตกต่างกันในทุกทรีทเมนต์ ซึ่งโดยทั่วไปการเคลือบผิวนั้นจะไปปกคลุมทับช่องเปิดต่างๆ ทำให้มีการสูญเสียน้ำและการแลกเปลี่ยนแก๊สลดน้อยลง (จริงแท้, 2541) ผลการทดลองขัดแย้งกับการศึกษาของ เกศรัตน์ และคณะ (2555) ที่พบว่าการใช้สารเคลือบผิวจากไขผึ้งความเข้มข้น 0 2 4 6 8 และ 10 % เคลือบมะนาวพันธุ์แป้น เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 65 - 70 % พบว่ามะนาวที่เคลือบผิวมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าชุดควบคุม ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่า สารเคลือบผิวว่านหางจระเข้ซึ่งเป็นสารประกอบประเภทโพลีแซคคาไรด์ คุณสมบัติของการปกคลุมทับช่องเปิดต่างๆ มีต่ำกว่าสารเคลือบผิวจากไขผึ้งซึ่งเป็นสารเคลือบผิวสังเคราะห์และไม่สามารถบริโภคได้ อย่างไรก็ตาม การทดลองนี้สภาพห้องมีอุณหภูมิเฉลี่ยค่อนข้างสูงและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ จึงทำให้เห็นผลไม่ชัดเจน นอกจากนี้ Adetunji และคณะ (2012) มีการใช้สารเคลือบผิวว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 100 % ในสับปะรด โดยมีการเติมวุ้น 1 % ลงในสารเคลือบผิวว่านหางจระเข้ พบว่าสามารถลดอัตราการหายใจ และการสูญเสียน้ำได้ แต่ในการทดลองนี้สารเคลือบผิวว่านหางจระเข้ทุกความเข้มข้นไม่ได้มีการเติมวุ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการยึดเกาะของผลิตผล เมื่อนำมาเคลือบผลิตผลแล้ว อาจเกิดรอยแตกหรือรอยแยกที่บริเวณผิว ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้มีการคายน้ำออกจากผลิตผลได้ตามปกติ (จริงแท้, 2541)

ทางด้านคุณภาพภายใน ปริมาณน้ำคั้นพบว่าในทุกทรีทเมนต์ไม่มีความแตกต่างกัน อาจเป็นเพราะมะนาวมีการสูญเสียน้ำที่เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา จึงทำให้ปริมาณน้ำภายในผลที่คั้นออกมาไม่พบความแตกต่างกัน ปริมาณ TSS ปริมาณ TA และอัตราส่วน TSS:TA ที่

ไม่มีความแตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผลไม้ในตระกูลส้ม จะมีอัตราการหายใจต่ำ จึงทำให้คุณภาพภายในมีการเปลี่ยนแปลงที่เห็นผลไม่มากนัก (จริงแท้, 2541) เช่นเดียวกับ Arowora และคณะ (2012) ที่มีการใช้สารเคลือบผิวว่านหางจระเข้ในส้ม พบว่าปริมาณ TSS TA และอัตราส่วน TSS:TA ไม่แตกต่างกัน ยกเว้นปริมาณ TA ในช่วงท้ายของการเก็บรักษาที่มีค่าต่ำกว่าชุดควบคุม

การทดลองที่ 2
ผลของการใช้ SA ต่อการยืดอายุการเก็บรักษามะนาว หลังการเก็บเกี่ยว

บทนำ

กรดซาลิไซลิก เป็นสารประกอบฟีนอลที่เป็นสารควบคุมการเจริญเติบโต และควบคุมคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยว มีการใช้กรดซาลิไซลิกเพื่อลดการเกิดโรค การต้านทานโรคหลังการเก็บเกี่ยว (Asghari and Aghdam, 2010) นอกจากนี้กรดซาลิไซลิกยังชะลอการสุกของผลไม้ รวมทั้งยับยั้งการสังเคราะห์หรือการทำงานของเอทิลีน ซึ่งช่วยรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวได้ (Srivastava and Dwivedi, 2000) โดยกรดซาลิไซลิกช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในผลไม้หลายชนิด เช่น มะม่วง (ศิริชัย, 2548) ส้ม (ปาริชาติและอุษาวดี, 2555; Huang *et al.,* 2008) ละมุด (วารินทร์และสุภาวดี, 2549) พุทธา (นันทิพา และคณะ, 2553) กล้วย (Srivastava and Dwivedi, 2000) ท้อ (Khademi and Ershadi, 2013; Razavi *et al.,* 2014) องุ่น (Asghari *et al.,* 2013) เชอร์รี่หวาน (Mirzaie *et al.,* 2015) แอปเปิ้ล (Kazemi *et al.,* 2011) ซึ่งกรดซาลิไซลิกช่วยชะลอการสุกและยืดอายุการเก็บรักษา (Srivastava and Dwivedi, 2000; Asghari *et al.,* 2013) ชะลอความแน่นเนื้อ (วารินทร์และสุภาวดี, 2549; Khademi and Ershadi, 2013; Razavi *et al.,* 2014) ช่วยลดการเกิดโรคและต้านทานโรค (Khademi and Ershadi, 2013) ชะลออัตราการเกิดเอทิลีน (ศิริชัย, 2548; นันทิพา และคณะ, 2553) และลดการเกิดอาการสะท้านหนาว ซึ่งการเกิดอาการสะท้านหนาวเป็นปัญหาสำคัญหลังการเก็บเกี่ยวที่สำคัญต่อการเสื่อมสภาพของไม้ผลเมืองร้อนและเขตกึ่งร้อน (ปาริชาติและอุษาวดี, 2555) ทั้งนี้พบว่ามีการใช้กรดซาลิไซลิกเก็บรักษาผลิตผลที่อุณหภูมิต่ำ Khademi และ Ershadi (2013) มีการใช้กรดซาลิไซลิกเก็บรักษาท้อ โดยเก็บที่อุณหภูมิ 0 ± 1 °C เป็นเวลา 42 วัน Tareen และคณะ (2012) เก็บรักษาท้อที่อุณหภูมิ 0 ± 0.3 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 90 % เป็นเวลา 5 สัปดาห์ เช่นเดียวกับ Razavi และคณะ (2014) เก็บรักษาท้อที่อุณหภูมิ 1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 80 - 90 % เป็นเวลา 28 วัน Asghari และคณะ (2013) มีการใช้กรดซาลิไซลิกร่วมกับการเก็บที่อุณหภูมิ 0 ± 0.5 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 95 % Mirzaie และคณะ (2015) ใช้กรดซาลิไซลิกในเชอร์รี่หวานร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นต้น ดังนั้นจึงมีการศึกษาการใช้กรดซาลิไซลิกในการยืดอายุการเก็บรักษามะนาวหลังการเก็บเกี่ยว

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุพืช

คัดเลือกมะนาวพันธุ์แป้นที่มีขนาดผลและผิวสีเขียวสม่ำเสมอจำนวน 60 ผล มาทำความสะอาดเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 ก่อนนำไปให้ทรีทเมนต์กรดซาลิไซลิก

วิธีการศึกษา

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) ประกอบด้วย 6 ทรีทเมนต์ คือ การแช่ผลมะนาวด้วยสารละลายกรดซาลิไซลิก (Ajax Finechem, ประเทศออสเตรเลีย สารออกฤทธิ์ 99.5 %) มี 6 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 0.5 1 1.5 2 และ 2.5 mM ทำ 10 ซ้ำ ซ้ำละ 1 ผล โดยนำมะนาวไปแช่กรดซาลิไซลิกเป็นเวลา 30 นาที แล้วผึ่งให้แห้ง บรรจุบนถาดโฟมขนาด 20 cm x 20 cm x 2 cm หุ้มด้วยฟิล์มถนอมอาหาร เก็บรักษาโดยวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง 32 ± 1.5 ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 62.7 ± 7.2 %

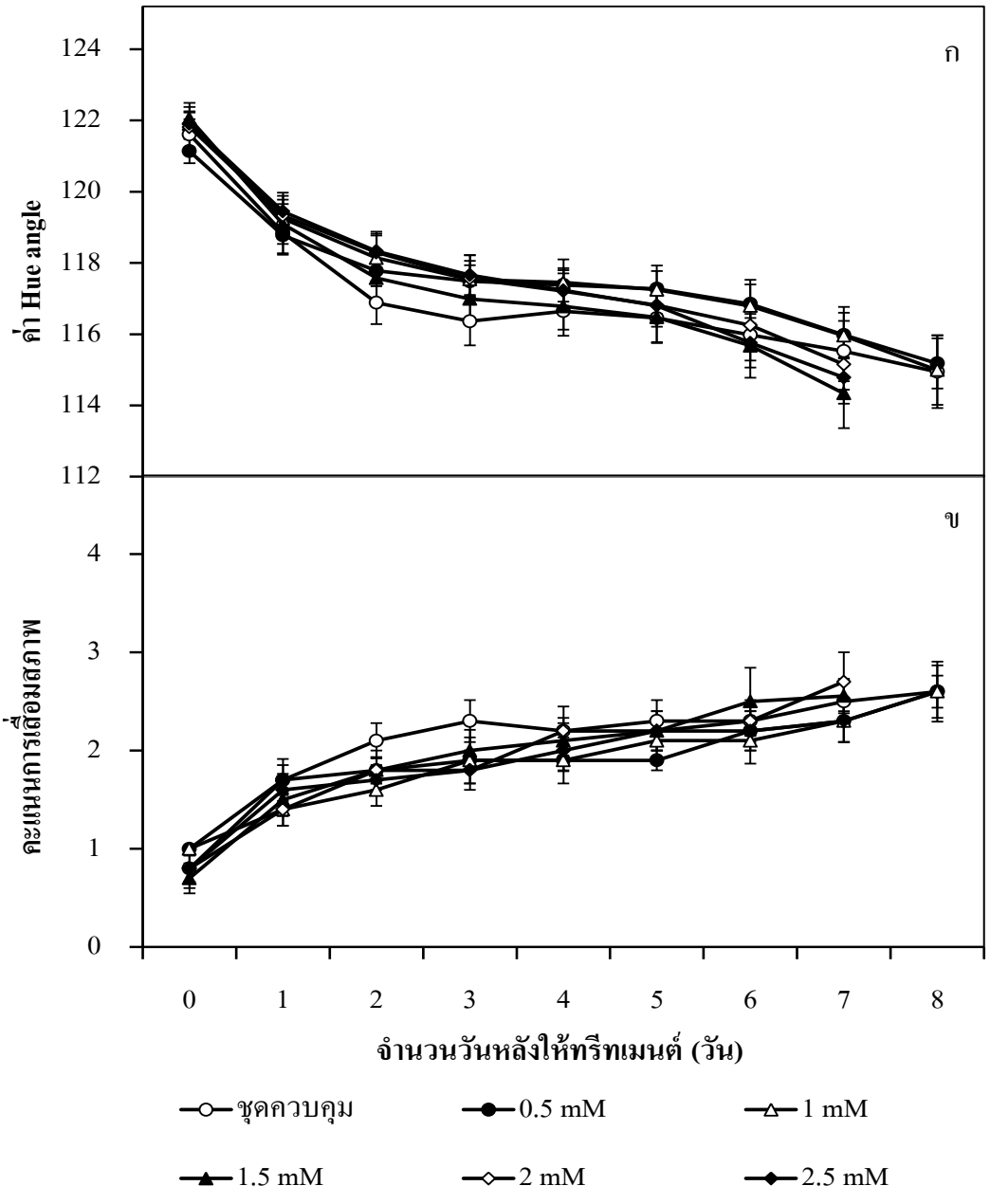
การบันทึกผล

บันทึกการเปลี่ยนแปลงของมะนาวภายหลังการแช่กรดซาลิไซลิกเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

ผลการทดลอง

1. อายุการเก็บรักษาและการเปลี่ยนแปลงค่าสี

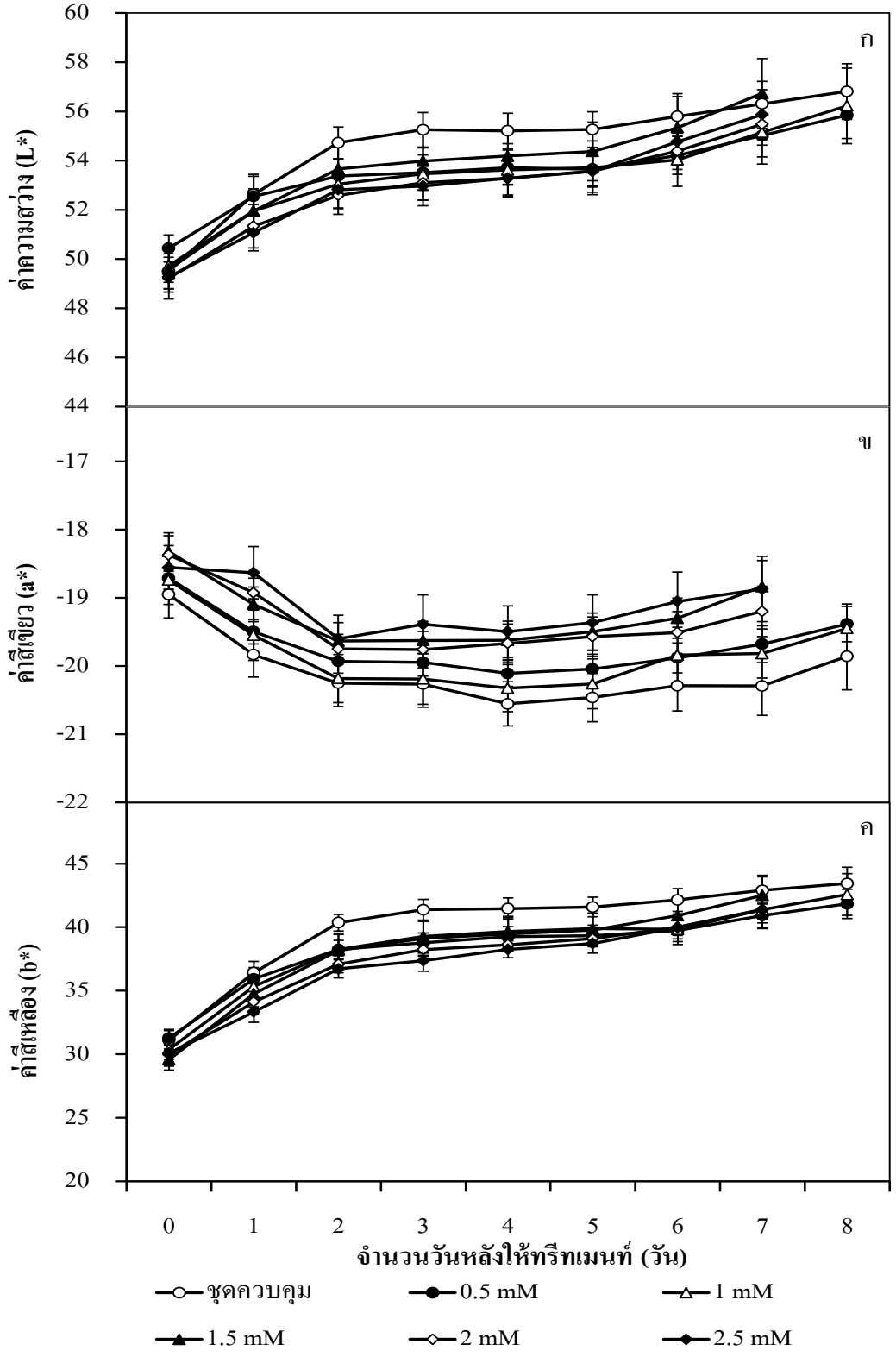
การศึกษาผลของกรดซาลิไซลิกต่อการยืดอายุการเก็บรักษา โดยเก็บที่อุณหภูมิ 32 ± 1.5 ^{o}C ความชื้นสัมพัทธ์ 62.7 ± 7.2 % ผลการทดลองพบว่า มะนาวทุกทรีทเมนต์มีการลดลงของค่า Hue angle ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (ภาพที่ 2.5 ก) โดยมีอายุการเก็บรักษา 6-8 วัน (ภาพที่ 2.5 ข) นอกจากนี้ การเปลี่ยนแปลงค่าสีสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของค่า L* a* และ b* โดยทุกทรีทเมนต์มีการเปลี่ยนแปลงสีที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 2.7)



ภาพที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงค่า Hue angle และค่าคะแนนการเสื่อมสภาพของมะนาวหลังจากที่แช่ผลมะนาวด้วยสารละลายกรดซาลิไซลิกและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 32 ± 1.5 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 62.7 ± 7.2 % เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (บาร์แนวตั้ง = ± SE)

ความเข้มข้นของกรดซาลิไซลิก

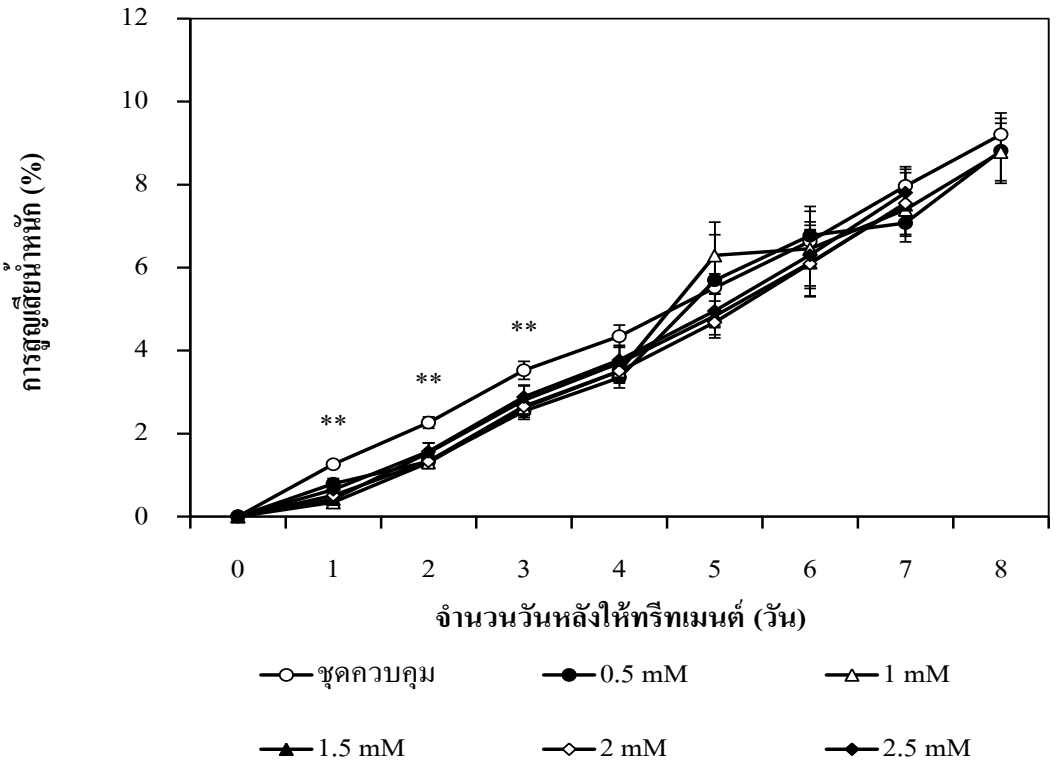
ภาพที่ 2.6 การเปลี่ยนแปลงสีจากเขียวเป็นเหลืองของผลมะนาวในวันที่แช่กรดซาลิไซลิก (ก) ผลมะนาวในชุดควบคุมมีคะแนนการเสื่อมสภาพที่ระดับ 3 (ข)



ภาพที่ 2.7 ค่าสี L* (ก) a* (ข) และ b* (ค) ของมะนาวหลังจากที่แช่ผลมะนาวด้วยสารละลายกรดซาลิไซลิกและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 32 ± 1.5 ^{o}C ความชื้นสัมพัทธ์ 62.7 ± 7.2 % เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (บาร์แนวตั้ง = ± SE)

2. การสูญเสียน้ำหนัก

จากการศึกษา พบว่ามะนาวทุกทรีทเมนต์มีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตลอดการเก็บรักษา แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 2.8)



ภาพที่ 2.8 การสูญเสียน้ำหนักของมะนาวหลังจากที่แช่ผลมะนาวด้วยสารละลายกรดซาลิไซลิกและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 32 ± 1.5 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 62.7 ± 7.2 % เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (บาร์แนวตั้ง = ± SE)

3. คุณภาพภายใน

การใช้สารละลายกรดซาลิไซลิกทุกความเข้มข้น พบว่าไม่มีผลต่อคุณภาพภายในและไม่แตกต่างจากชุดควบคุม คือ ปริมาณน้ำคั้น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และอัตราส่วน TSS:TA (ตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.2 ผลของกรดซาลิไซลิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ต่ออายุการเก็บรักษา ปริมาณน้ำคั้น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้และอัตราส่วน TSS:TA

ทรีทเมนต์	ปริมาณน้ำคั้น (%)	ปริมาณ TSS (^{o}Brix)	ปริมาณ TA (%)	อัตราส่วน TSS:TA
ชุดควบคุม	34.26	7.62	7.12	1.07
0.5 mM	36.96	7.38	6.93	1.09
1.0 mM	34.20	7.82	6.82	1.16
1.5 mM	35.51	7.72	6.91	1.13
2.0 mM	36.10	7.46	7.08	1.06
2.5 mM	35.72	7.56	7.04	1.08
F-test	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	15.85	5.43	9.50	12.08

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับ 95 %

วิจารณ์ผลการทดลอง

การใช้กรดซาลิไซลิกที่ระดับความเข้มข้นต่ำสามารถช่วยชะลอการสุก เพิ่มการต้านทานต่อการเกิดโรค และช่วยคงรักษาคุณภาพของผลไม้หลังเก็บเกี่ยวได้หลายชนิด (Kant *et al.,* 2013) จากรายงานการทดลองในส้มนาเวล พบว่าการใช้กรดซาลิไซลิกกับเนื้อผลสามารถไปลดการการเกิดกระบวนการ lipid peroxidation ซึ่งเป็นกระบวนการออกซิเดชันที่เกิดขึ้นในช่วงระหว่างผลเสื่อมสภาพจึงมีผลทำให้เนื้อผลส้มนาเวลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมีสารต้านอนุมูลอิสระลดลง จึงทำให้เนื้อผลของส้มนาเวลชะลอการลดลงของสารต้านอนุมูลอิสระและคงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำได้ (Huang *et al.,* 2008) โดยทั่วไปการใช้กรดซาลิไซลิกในพืชตระกูลส้มมักใช้เพื่อลดการสูญเสียระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งเป็นการสูญเสียที่เกิดขึ้นมาจากการเกิดอาการสะท้านหนาว นอกจากนี้การใช้กรดซาลิไซลิกยังช่วยทำให้ต้านทานต่อการเกิดโรคหลังเก็บเกี่ยว จึงทำให้มีอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น (Siboza *et al*., 2011) อย่างไรก็ตาม จากผลการทดลองพบว่า การใช้กรดซาลิไซลิกกับมะนาวพันธุ์แป้น ไม่สามารถยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวได้ โดยสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงสี เปอร์เซ็นต์การสูญน้ำหนัก เปอร์เซ็นต์น้ำคั้น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และอัตราส่วน TSS:TA สำหรับคุณภาพผลภายในที่ไม่แตกต่างกันนี้ อาจเป็นเพราะกรดซาลิไซลิกไม่มีผลในการชะลอการเปลี่ยนแปลงสีและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก ซึ่งคาดว่าเป็นเพราะไม่มีความแตกต่างกันของอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนระหว่างผลมะนาวในชุดควบคุมและที่ได้รับกรดซาลิไซลิก นอกจากนี้ การศึกษาในครั้งนี้ได้เก็บรักษาผลมะนาวภายหลังให้ทรีทเมนต์กรดซาลิไซลิกที่อุณหภูมิ 32 ± 1.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 62.7 ± 7.2 % ซึ่งเป็นสภาพอุณหภูมิสูงและความชื้นต่ำ สภาพในการเก็บรักษาดังกล่าวจึงไม่ใช่สภาพที่กระตุ้นให้ผลมะนาวเกิดอาการสะท้านหนาว ทำให้ผลการทดลองไม่มีความแตกต่างกัน โดยจากผลการศึกษาของ Siboza และคณะ (2011) พบว่า การจุ่มผลมะนาวฝรั่งพันธุ์ Eureka ในกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 1 2 และ 2.5 mM นาน 30 วินาที ก่อนเคลือบแวกซ์แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (-0.5 °C) นานแตกต่างกัน แล้วย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิปกติ 7 วัน พบว่า ไม่พบอาการสะท้านหนาวในผลมะนาวที่ได้รับกรดซาลิไซลิกเมื่อเวลาเก็บรักษานานขึ้น โดยการรั่วไหลของประจุ ปริมาณเอทิลีนและอัตราการหายใจไม่มีความแตกต่างกันกับผลในชุดควบคุม โดยกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 2 mM สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักและชะลอการลดลงของสารต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุด เช่นเดียวกับการศึกษาของ ปาริชาติและอุษาวดี (2555) ที่พบว่า การใช้กรดซาลิไซลิกกับผลส้มสายน้ำผึ้ง โดยแช่ผลส้มในสารละลายกรดซาลิไซลิก 5 10 และ 15 μM นาน 10 นาที แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 °C นาน 3 สัปดาห์ แล้วนำออกมาวางไว้ที่อุณหภูมิ 25 ± 2 °C

นาน 12 วัน พบว่า สามารถลดการเกิดอาการสะท้านหนาวได้ โดยสอดคล้องกับการลดลงของการรั่วไหลของประจุ และการเกิดรอยบุ๋มที่เปลือก ดังนั้น หากจะใช้กรดซาลิไซลิกเพื่อยืดอายุการเก็บรักษามะนาวพันธุ์แป้น ควรมีการศึกษาต่อโดยใช้กรดซาลิไซลิกเพื่อลดอาการสะท้านหนาวโดยทำในสภาพการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำปกติ (9 - 10 °C) เปรียบเทียบกับอุณหภูมิต่ำกว่าปกติ (จนทำให้เกิดอาการสะท้านหนาว) แล้วนำมาวางไว้ที่อุณหภูมิห้องปกติระยะเวลาหนึ่ง

การทดลองที่ 3
ผลของการใช้สารละลาย GA_3 ต่อการยืดอายุการเก็บรักษามะนาว หลังการเก็บเกี่ยว

บทนำ

พืชมีฮอร์โมนควบคุมการเจริญเติบโต ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่สังเคราะห์ขึ้นจากส่วนใดส่วนหนึ่งของพืช โดยมีอิทธิพลในการเปลี่ยนแปลงสีในผลไม้ (จริงแท้, 2541) สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชสามารถกระตุ้น ยับยั้งหรือเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาได้ (พีรเดช, 2537) สำหรับกรดจิบเบอเรลลิค (GA_3) เป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชอีกชนิดหนึ่งที่สามารถชะลอการเสื่อมสภาพและการสูญเสียคลอโรฟิลล์ในพืชตระกูลส้ม (Feng *et al.,* 2001) สำหรับผลผลิตที่เก็บเกี่ยวมาแล้วนั้น GA_3 ช่วยชะลอการเปลี่ยนสีเปลือกจากเขียวเป็นเหลือง โดยไปลดการสร้างเอทิลีน (จริงแท้, 2541;2553) จึงมีผลทำให้ผลไม้มีอัตราการหายใจช้าลง และชะลอการเปลี่ยนแปลงสี ส่งผลให้มีการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ช้าลง และมีการสังเคราะห์คาโรทีนอยด์เกิดช้าลงด้วย จึงสามารถเก็บรักษาผลได้นานขึ้น ปัจจุบันจึงนิยมใช้กรดจิบเบอเรลลิค ชะลอการเสื่อมสภาพในพืชตระกูลส้มหลังการเก็บเกี่ยว (ดนัย, 2534) เช่น มีการใช้ GA_3 ความเข้มข้น 200 และ 400 ppm แช่ผลมะนาว พบว่า สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีผิวจากสีเขียวไปเป็นเหลืองได้ 4 สัปดาห์ (นิภา, 2540) เจริญและคณะ (2545) มีรายงานการจุ่มผลมะนาวในสารละลาย GA_3 ความเข้มข้น 100 ppm พบว่าสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีผิวของมะนาวจากสีเขียวเป็นเหลืองได้ หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 2 เดือน นอกจากนี้ยังมีการรายงานการใช้ GA_3 ก่อนการเก็บเกี่ยวเพื่อชะลอการเปลี่ยนสี และส่งผลให้เกิดการเสื่อมสภาพที่ช้าลง โดย Porat และคณะ (2001) ได้รายงานการใช้สารละลาย GA_3 ในส้มพันธุ์ ‘Oroblanco’ ความเข้มข้นก่อนการเก็บเกี่ยว 10 ppm และ 100 ppm หลังเก็บเกี่ยว นุชนาฎ และพีระศักดิ์, (2553) รายงานการฉีดพ่น GA_3 ความเข้มข้น 25 ppm ในส้มโอก่อนการเก็บเกี่ยว โดยทำการฉีดพ่นทุกเดือน เป็นระยะเวลา 3 เดือน พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ วิตามินซี อัตราส่วน SS:TA ความแน่นเนื้อมีค่ามากกว่าชุดควบคุม และยังมีผลทำให้น้ำหนักผล ความสูงและน้ำหนักเปลือกมีค่ามากกว่าชุดควบคุมด้วย ซึ่งทำให้ส้มโอมีความทนทานต่อการขนส่งมากขึ้น เป็นต้น

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุพืช

คัดเลือกมะนาวพันธุ์แป้นที่มีขนาดผลและผิวสีเขียวสม่ำเสมอจำนวน 40 ผล มาทำความสะอาดเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 ก่อนนำไปให้ทรีทเมนต์สารละลาย GA_3

วิธีการศึกษา

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) ประกอบด้วย 4 ทรีทเมนต์ คือ การแช่ผลมะนาวด้วยสารละลาย GA_3 (สารละลายกรูพเคมี จีเอ 0.5 %) 4 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 100 200 และ 300 ppm ทำ 10 ซ้ำ ซ้ำละ 1 ผล โดยนำมะนาวไปแช่สารละลาย GA_3 เป็นเวลา 30 นาที แล้วผึ่งให้แห้ง บรรจุบนถาดโฟมขนาด 20 cm x 20 cm x 2 cm หุ้มด้วยฟิล์มถนอมอาหาร เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง 27.4 ± 1.1 ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 81.6 ± 7.3 %

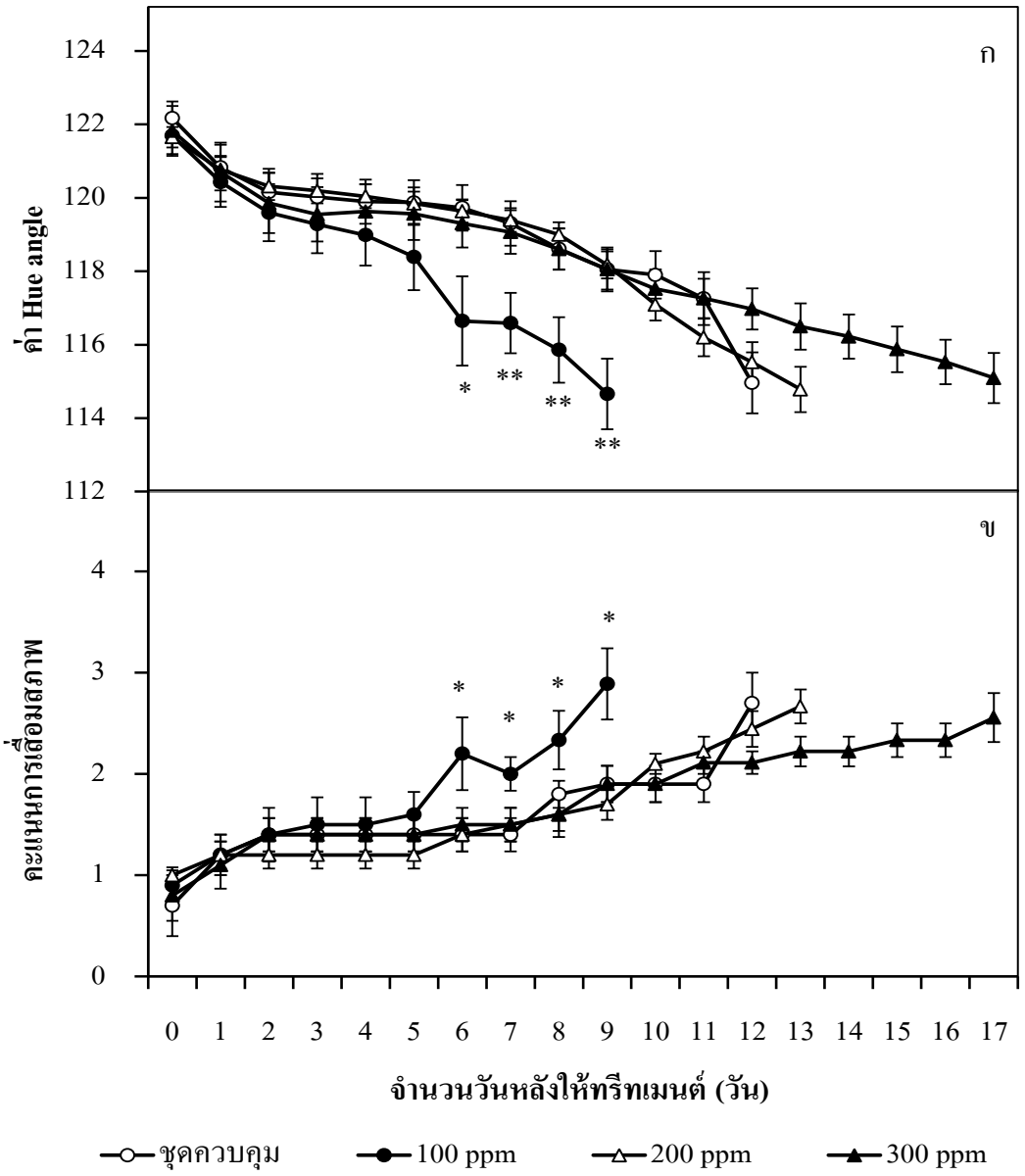
การบันทึกผล

บันทึกการเปลี่ยนแปลงของมะนาวภายหลังการแช่สารละลาย GA_3 เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

ผลการทดลอง

1. อายุการเก็บรักษาและการเปลี่ยนแปลงค่าสี

การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของมะนาวมีการเปลี่ยนแปลงจากสีเขียวเป็นสีเหลืองเมื่อมีระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น โดยเก็บที่อุณหภูมิ 27.4 ± 1.1 ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 81.6 ± 7.3 % ผลการทดลองพบว่า ค่า Hue angle มีการลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยมะนาวที่แช่ GA_3 ความเข้มข้น 100 ppm มีค่า Hue angle ลดลงต่ำกว่าทุกทรีทเมนต์ (ภาพที่ 2.9 ก) และมีอายุการเก็บรักษา 9 วัน (ภาพที่ 2.9 ข) เมื่อเปรียบเทียบกับมะนาวที่แช่ GA_3 ความเข้มข้น 300 ppm สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกได้ดีที่สุด (ภาพที่ 2.10) และมีอายุการเก็บรักษา 17 วัน นอกจากนี้มะนาวที่แช่สารละลาย GA_3 ชุดควบคุม และความเข้มข้น 200 ppm มีอายุการเก็บรักษา 13 วัน ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของค่า L* a* และ b* พบว่าการแช่ด้วย GA_3 ความเข้มข้น 200 และ 300 ppm สามารถชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า L* a* และ b* ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (ภาพที่ 2.11 ก ข และ ค)

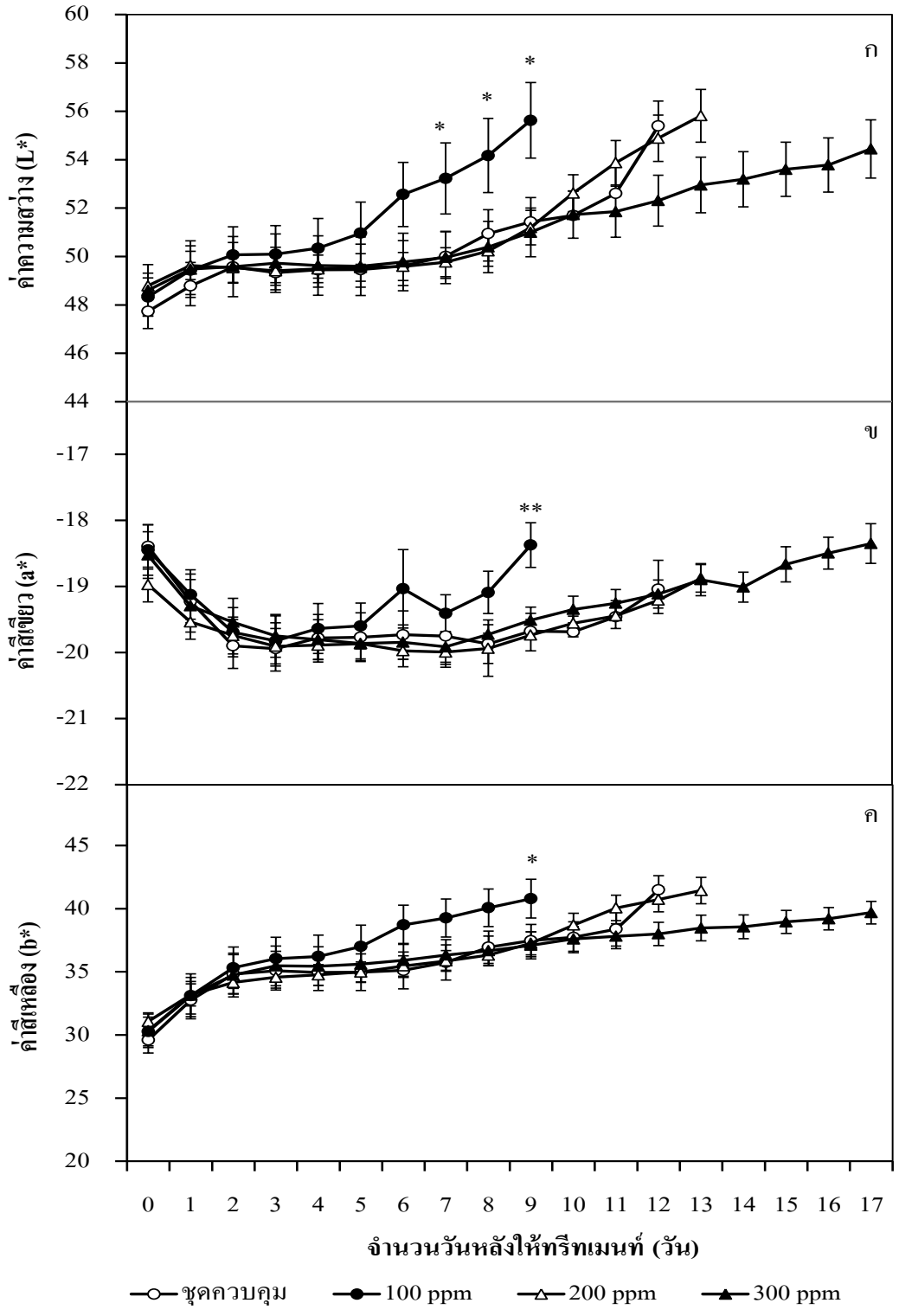


ภาพที่ 2.9 การเปลี่ยนแปลงค่า Hue angle และค่าคะแนนการเสื่อมสภาพของผลมะนาวหลังแช่ด้วยสารละลาย GA_3 และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 27.4 ± 1.1 ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 81.6 ± 7.3 % * แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (บาร์แนวตั้ง = ± SE)

ชุดควบคุม 100 ppm 200 ppm 300 ppm

ความเข้มข้นสารละลาย GA_3

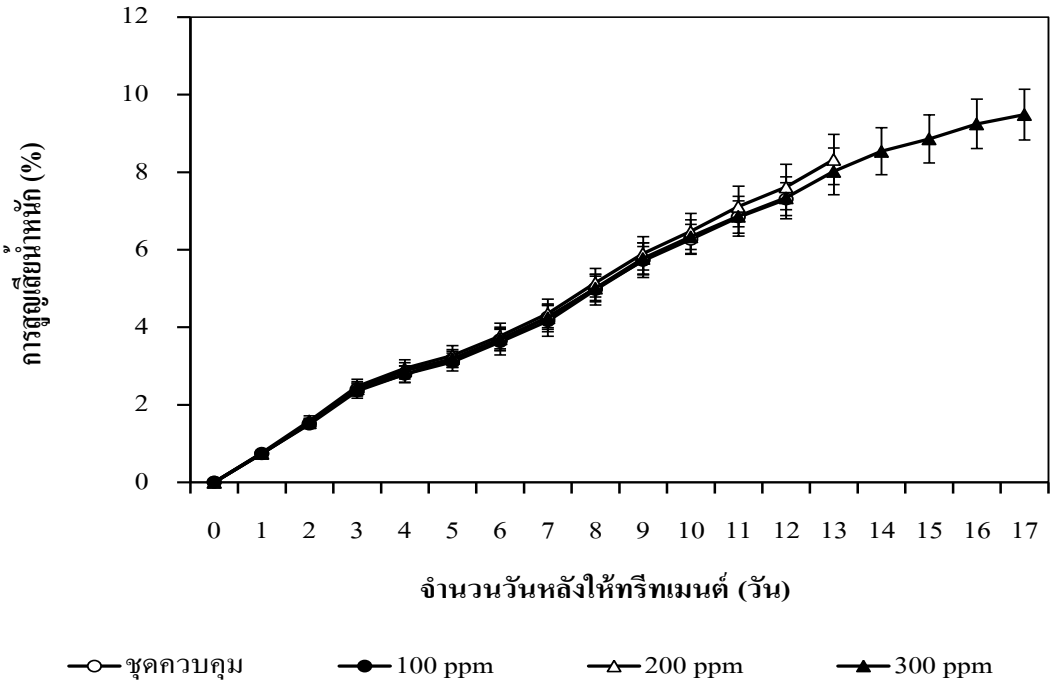
ภาพที่ 2.10 การเปลี่ยนแปลงสีจากเขียวเป็นเหลืองของผลมะนาวในวันที่แช่สารละลาย GA_3 (ก) ผลมะนาวในชุดควบคุมมีคะแนนการเสื่อมสภาพที่ระดับ 3 (ข)



ภาพที่ 2.11 ค่าสี L* (ก) a* (ข) และ b* (ค) ของมะนาวหลังจากที่แช่ด้วยสารละลาย GA_3 และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 27.4 ± 1.1 ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 81.6 ± 7.3 % * แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (บาร์แนวตั้ง = ± SE)

2. การสูญเสียน้ำหนัก

จากการศึกษาพบว่ามะนาวทุกทรีทเมนต์มีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตลอดการเก็บรักษา และทุกทรีทเมนต์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 2.12)



ภาพที่ 2.12 การสูญเสียน้ำหนักของมะนาวหลังจากที่แช่ด้วยสารละลาย GA_3 และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 27.4 ± 1.1 ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 81.6 ± 7.3 % เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (บาร์แนวตั้ง = ± SE)

3. คุณภาพภายใน

การใช้สารละลาย GA_3 ทุกความเข้มข้น พบว่าไม่มีผลต่อคุณภาพภายใน คือ ปริมาณน้ำคั้น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรต และอัตราส่วน TSS:TA (ตารางที่ 2.3)

ตารางที่ 2.3 ผลของสารละลาย GA_3 ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ปริมาณน้ำคั้น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้และอัตราส่วน TSS:TA

ทรีทเมนต์	ปริมาณน้ำคั้น (%)	ปริมาณ TSS (^{o}Brix)	ปริมาณ TA (%)	อัตราส่วน TSS:TA
ชุดควบคุม	44.76	8.4	7.97	1.05
100 ppm	44.14	7.9	7.55	1.05
200 ppm	44.15	8.1	7.79	1.04
300 ppm	45.68	7.8	7.67	1.02
F–test	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	7.90	5.76	5.04	4.18

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

วิจารณ์ผลการทดลอง

โดยทั่วไปผลของพืชตระกูลส้มจะถูกเก็บเกี่ยวต่อเมื่อผลสุกแก่เต็มที่แล้วบนต้น เนื่องจากเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric จึงไม่สามารถนำไปบ่มต่อให้สุกได้ ซึ่งเอทิลีนเป็นสาเหตุทำให้เกิดกระบวนการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ จึงมีผลทำให้เปลือกเปลี่ยนสีจากสีเขียวไปเป็นสีเหลือง (Ismail, 1997) สำหรับผลการทดลองในครั้งนี้ พบว่า การใช้สารละลาย GA_3 ความเข้มข้น 200 และ 300 ppm สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกจากสีเขียวเป็นสีเหลืองได้ โดยชะลอการลดลงของค่า hue angle ชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า L* a* และ b* ได้ ส่งผลทำให้มะนาวมีอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิโดยรอบได้นานกว่าชุดควบคุมประมาณ 1 และ 4 วัน ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับการศึกษาของ Porat และคณะ (2001) ที่ใช้สารละลาย GA_3 หลังการเก็บเกี่ยวกับส้มลูกผสมระหว่างส้มโอและเกรพฟรุ๊ตพันธุ์ ‘Oroblanco’ พบว่า สามารถชะลอการเปลี่ยนสีได้ แต่อย่างไรก็ตาม พบว่าความเข้มข้นที่ใช้ได้ผลในการทดลองนี้คือสารละลาย GA_3 300 ppm ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาของ Porat และคณะ (2001) ที่ใช้ความเข้มข้นเพียง 100 ppm ทั้งนี้ Porat และคณะ (2001) ได้รายงานเพิ่มเติมด้วยว่า การใช้สารละลาย GA_3 ในส้มพันธุ์ดังกล่าวควรใช้ทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว จะให้ผลในการชะลอการเปลี่ยนสีของส้ม ซึ่งส่งผลให้เกิดการเสื่อมสภาพช้าลง โดยความเข้มข้นที่ได้รายงานในการใช้สาร GA_3 กับส้มชนิดนี้คือ 10 ppm ก่อนเก็บเกี่ยว และ100 ppm หลังเก็บเกี่ยวตามลำดับ อย่างไรก็ตาม สำหรับการทดลองในครั้งนี้ การใช้สารละลาย GA_3 100 ppm กับมะนาว กลับมีผลทำให้มะนาวมีอายุการเก็บรักษาสั้นที่สุด ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาของเจริญ และคณะ (2545) ที่รายงานว่า การใช้สารละลาย GA_3 100 ppm สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีผิวของมะนาวพันธุ์แป้นได้ แต่ไม่มากนัก เนื่องจากความเข้มข้นต่ำเกินไป ทั้งนี้การเสื่อมสภาพของผลมะนาวที่ได้รับสารละลาย GA_3 จากการสังเกตในช่วงบันทึกผลการทดลองพบว่า บริเวณขั้วผลมะนาวมีสีน้ำตาลเกิดขึ้น ซึ่งสันนิษฐานว่าเป็นโรคแฝงหลังการเก็บเกี่ยว

การใช้สารละลาย GA_3 กับมะนาวพันธุ์แป้นหลังเก็บเกี่ยวไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก โดยการสูญเสียน้ำหนักมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะการใช้สารละลาย GA_3 ไม่ใช่เป็นการเคลือบผิวจึงไม่มีผลต่อการเคลื่อนที่ผ่านเข้าออกของน้ำและก๊าซทางช่องเปิดต่างๆ ซึ่งในผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวส่วนใหญ่จะมีการสูญเสียน้ำผ่านทางคิวติเคิล (จริงแท้, 2541; 2553)

สำหรับคุณภาพผลภายในของมะนาวที่ได้รับสาร GA_3 ไม่มีความแตกต่างจากมะนาวที่ไม่ได้รับสาร ซึ่งได้แก่ ปริมาณน้ำคั้น TSS TA และอัตราส่วน TSS:TA โดยทั่วไป การใช้สาร GA_3 เพื่อชะลอการเสื่อมสภาพของเปลือกพืชตระกูลส้มและยังช่วยในการปรับปรุงคุณภาพผล

รวมทั้งขยายฤดูกาลในการจำหน่ายให้ยาวนานขึ้น นอกจากนี้ เนื่องจากส้มเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric จึงไม่สามารถนำมาบ่มให้สุกหลังจากเก็บเกี่ยว ดังนั้น อีกแนวทางหนึ่งของการเก็บรักษาส้มคือการปล่อยให้ส้มติดอยู่บนต้น เพื่อทำให้ส้มมีเวลาในการสะสมอาหารเต็มที่แล้วค่อยเก็บเกี่ยว จึงส่งผลทำให้ผลส้มมีคุณภาพภายในที่ดีขึ้น (Ismail, 1997) สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ การใช้สาร GA_3 กับมะนาวหลังการเก็บเกี่ยวไม่มีผลในการเพิ่มคุณภาพผลภายใน ซึ่งจากเหตุผลข้างต้นหากต้องการให้การใช้สาร GA_3 มีประสิทธิภาพในการยืดอายุการเก็บรักษาให้ยาวนานและมีคุณภาพผลภายในที่ดีขึ้นควรใช้ทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งควรมีการศึกษาต่อไป

การทดลองที่ 4
ผลของการใช้ 1-MCP ต่อการยืดอายุการเก็บรักษามะนาว หลังการเก็บเกี่ยว

บทนำ

1-methylcyclopropene (1-MCP) มีสถานะเป็นแก๊สและสูตรโครงสร้างทางเคมีคือ C_4H_6 ซึ่งคล้ายกับเอทิลีน (C_2H_4) จึงมีคุณสมบัติในการยับยั้งการทำงานของเอทิลีนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสาร 1-MCP สามารถทำงานได้ในความเข้มข้นต่ำมาก โดยไปจับกับตัวรับเอทิลีนได้มากกว่าเอทิลีนถึง 10 เท่า เอทิลีนจึงไม่สามารถทำงานได้ (Blankenship and Dole, 2003) โดยเอทิลีนมีความสัมพันธ์กับอัตราการหายใจ เมื่อมีการหายใจสูงจะเร่งให้มีการผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้น จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลและมีการสุกเร็วขึ้น หากมีการยับยั้งการสร้างเอทิลีน จะช่วยชะลอการสุกของผลไม้ (พีรเดช, 2537) สาร 1-MCP ถูกนำมาใช้ในการรักษาความสดของผัก ผลไม้ ดอกไม้และยืดอายุการวางจำหน่ายของผลิตผลได้ ไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (สายชล, 2555) ที่ผ่านมามีการใช้ 1-MCP ในผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวหลายชนิดทั้งประเภท climacteric และ non-climacteric สำหรับมะนาวซึ่งเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric และจัดอยู่ในกลุ่มพืชตระกูลส้ม (สมโภชน์, 2540) ได้มีรายงานเกี่ยวกับการศึกษาการใช้ 1-MCP กับพืชในกลุ่มดังกล่าว ดังนี้ Porat และคณะ (1999) รายงานการรม 1-MCP 100 nlL^{-1} กับส้มพันธุ์ Shamouti สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสี ชะลอการเกิดอาการสะท้านหนาวในผลส้ม Zhong และคณะ (2001) รายงานการรม 1-MCP เพื่อชะลอการหลุดร่วงที่เกิดขึ้นในส้ม ขณะที่ Win และคณะ (2006) รายงานว่า การรม 1-MCP 250 และ 500 nlL^{-1} กับมะนาวสามารถชะลอการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในผิวเปลือก เช่น chlorophyllase chlorophyll degrading peroxidase เป็นต้น ยับยั้งการผลิตเอทิลีน และชะลอการเหลืองของมะนาวได้ 36 วัน ในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จะเห็นได้ว่าสาร 1-MCP สามารถชะลอการเสื่อมสภาพและยืดอายุการเก็บรักษาของพืชในตระกูลส้มได้นานขึ้น อย่างไรก็ตาม สำหรับมะนาวพันธุ์แป้นยังไม่มีข้อมูลที่ชัดเจนในการนำเอาสาร 1-MCP มาใช้ร่วมกับว่านหางจระเข้และฮอร์โมนชนิดอื่น ๆ ดังนั้น วัตถุประสงค์ของการทดลองนี้เพื่อให้ได้ความเข้มข้นที่เหมาะสมของสาร 1-MCP มาใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาของผลมะนาวพันธุ์แป้นต่อไป

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุพืช

คัดเลือกมะนาวพันธุ์แป้นที่มีขนาดผลและผิวสีเขียวสม่ำเสมอจำนวน 50 ผล มาทำความสะอาดเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 ก่อนนำไปให้ทรีทเมนต์ 1-MCP

วิธีการศึกษา

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) ประกอบด้วย 5 ทรีทเมนต์ คือ การรมผลมะนาวด้วย 1-MCP (Ansi-P, Taiwan, สารออกฤทธิ์ 0.19 %) 5 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 250 500 750 และ 1000 ppb ทำ 10 ซ้ำ ซ้ำละ 1 ผล โดยนำมะนาวรม 1-MCP ในตู้ขนาด 50 cm x 50 cm 50 cm เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาบรรจุบนถาดโฟมขนาด 20 cm x 20 cm x 2 cm หุ้มด้วยฟิล์มถนอมอาหาร เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง 26.2 ± 1.4 ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 82.7 ± 9.5 %

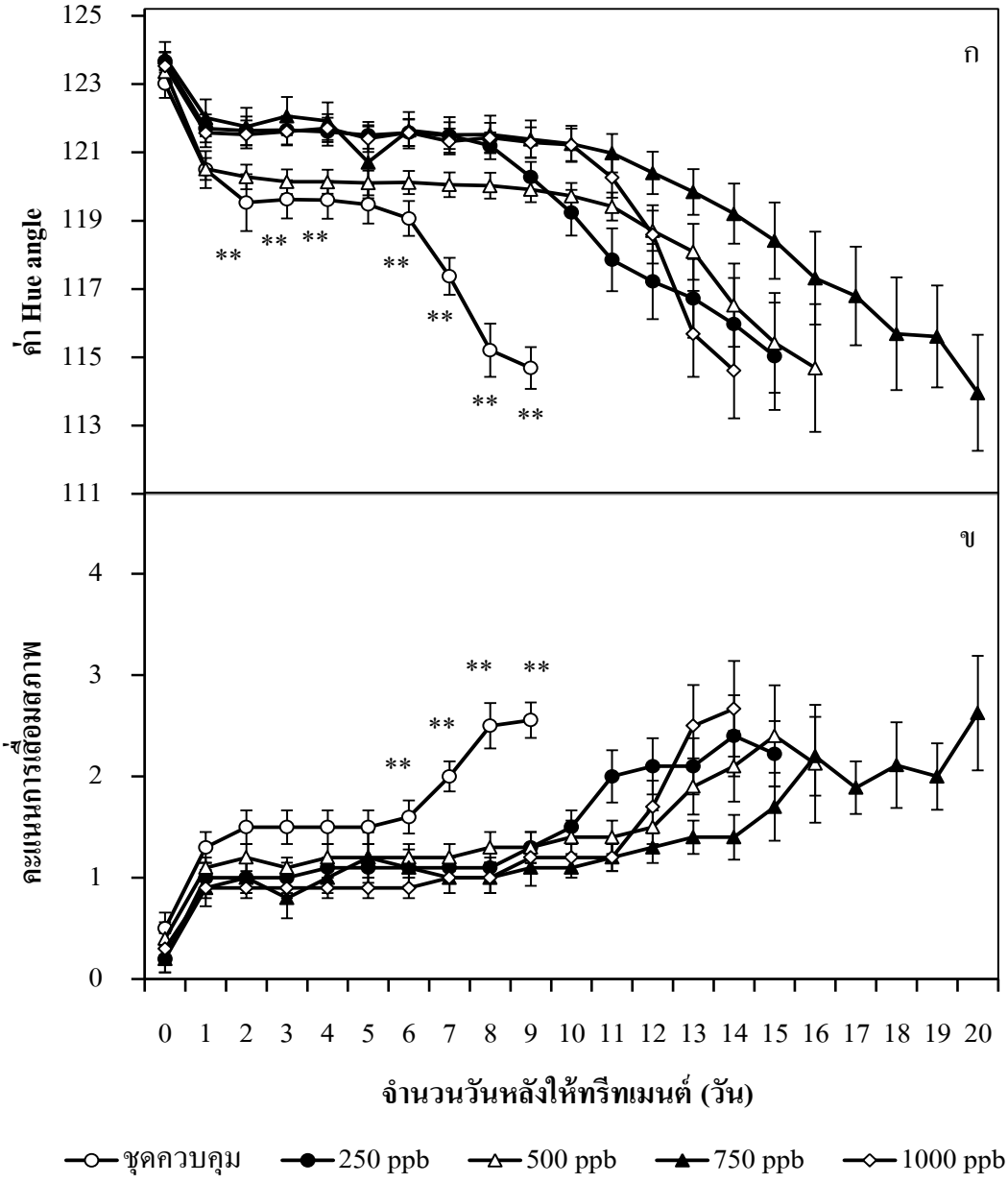
การบันทึกผล

บันทึกการเปลี่ยนแปลงของมะนาวภายหลังรมสาร 1-MCP เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

ผลการทดลอง

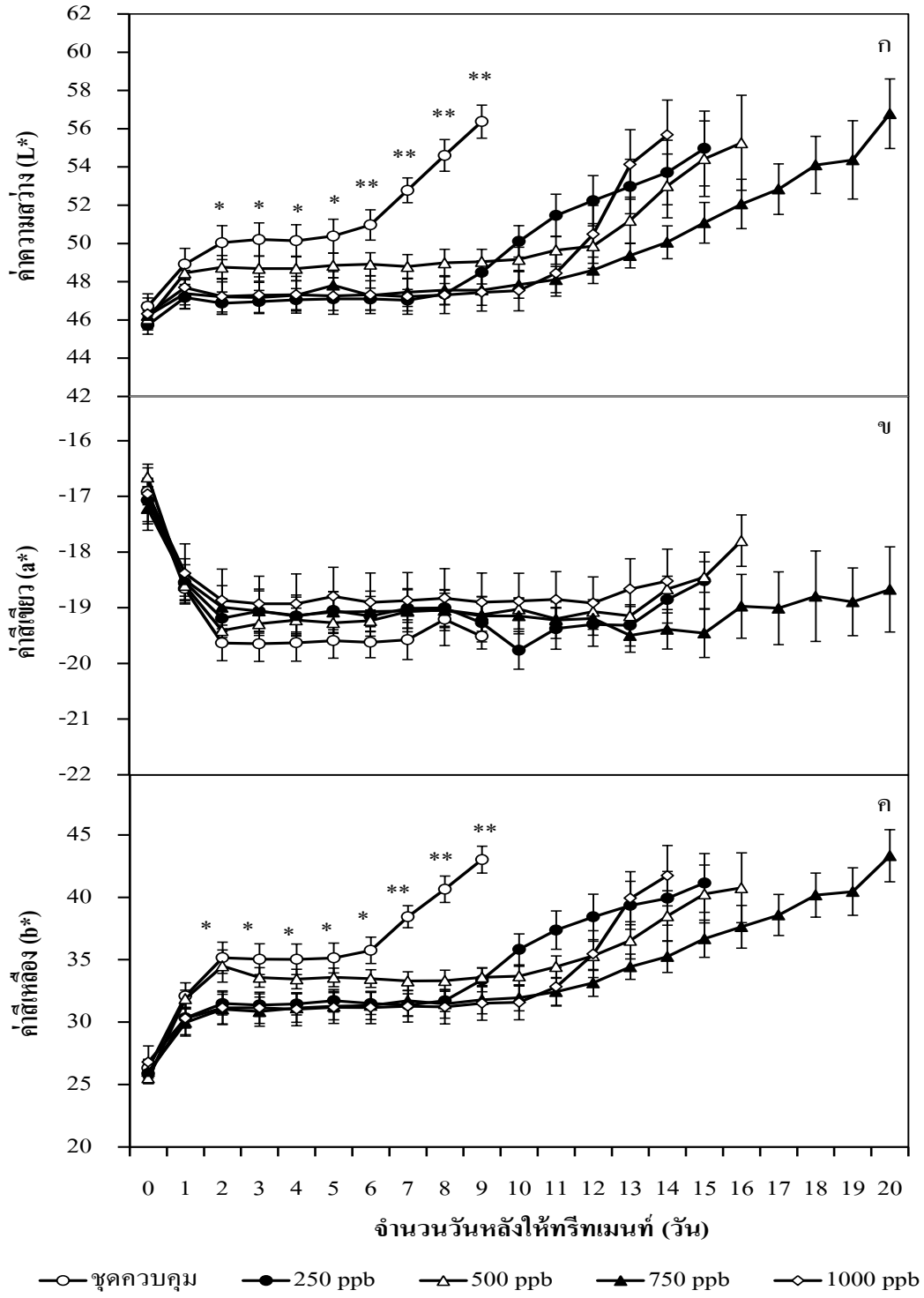
1. อายุการเก็บรักษาและการเปลี่ยนแปลงค่าสี

ภายหลังจากการเก็บรักษามะนาวที่อุณหภูมิ 26.2 ± 1.4 ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 82.7 ± 9.5 % พบว่าค่า Hue angle มีการลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยมะนาวชุดควบคุมมีการลดลงของค่า Hue angle มากที่สุด และมีอายุการเก็บรักษาเพียง 9 วัน (ภาพที่ 2.13 ก) เมื่อเปรียบเทียบกับมะนาวที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 750 ppb สามารถชะลอการลดลงของค่า Hue angle (ภาพที่ 2.13 ข) และชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกได้ (ภาพที่ 2.14) และมีอายุการเก็บรักษา 20 วัน ในขณะที่การรมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 250 500 และ 1000 ppb มะนาวมีอายุการเก็บรักษา 15 16 และ 14 วัน ตามลำดับ สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงค่า L* a* และ b* โดยมะนาวที่รมสาร 1-MCP ทุกความเข้มข้นสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสี และชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า L* a* และ b* ได้ดีที่สุด (ภาพที่ 2.15)



ภาพที่ 2.13 การเปลี่ยนแปลงค่า Hue angle และค่าคะแนนการเสื่อมสภาพของมะนาวของมะนาวหลังจากที่รมผลมะนาวด้วย 1-MCP และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 26.2 ± 1.4 ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 82.7 ± 9.5 % * แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD ระดับความเชื่อมั่น 95% (บาร์แนวตั้ง = ± SE)

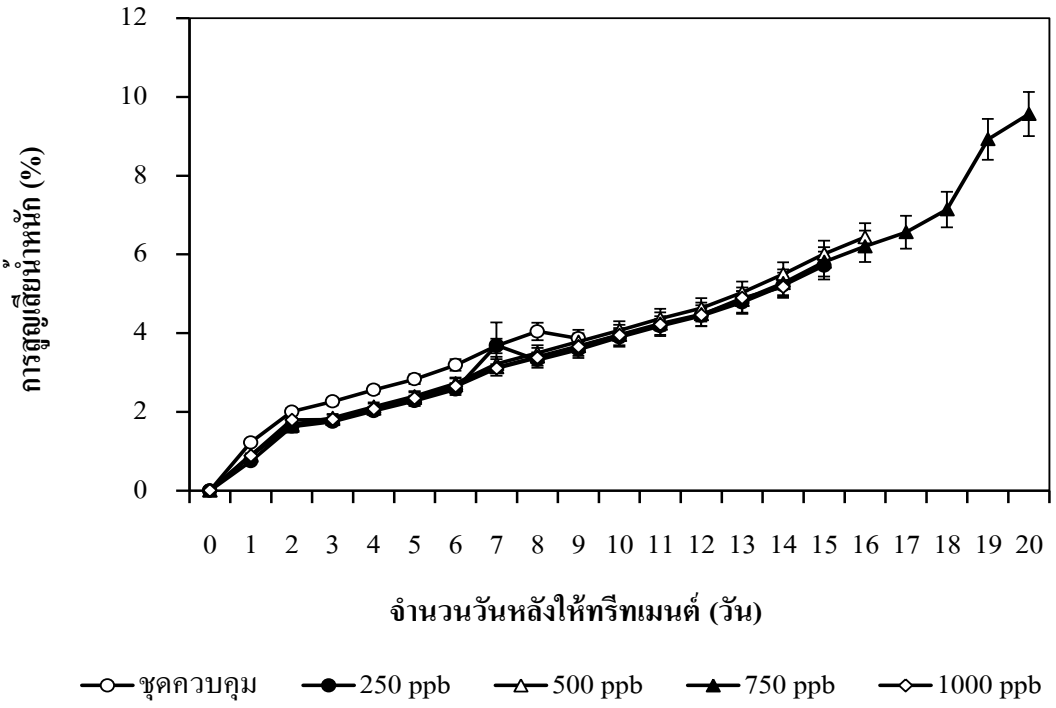
ภาพที่ 2.14 การเปลี่ยนแปลงสีจากเขียวเป็นเหลืองของผลมะนาวในวันที่รมสาร 1-MCP (ก) ผลมะนาวในชุดควบคุมมีคะแนนการเสื่อมสภาพที่ระดับ 3 (ข)



ภาพที่ 2.15 ค่าสี L* (ก) a* (ข) และ b* (ค) ของมะนาวหลังจากที่รมผลมะนาวด้วย 1-MCP และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 26.2 ± 1.4 ºc ความชื้นสัมพัทธ์ 82.7 ± 9.5 % * แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %, ** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (บาร์แนวตั้ง = ± SE)

2. การสูญเสียน้ำหนัก

จากผลการศึกษา พบว่ามะนาวทุกทรีทเมนต์มีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตลอดการเก็บรักษา แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (ภาพที่ 2.16)



ภาพที่ 2.16 การสูญเสียน้ำหนักของมะนาวหลังจากที่รมด้วย 1-MCP และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 26.2 ± 1.4 ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 82.7 ± 9.5 % เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (บาร์แนวตั้ง = ± SE)

3. คุณภาพภายใน

จากผลการทดลอง พบว่าทุกความเข้มข้นไม่มีผลต่อคุณภาพภายใน คือ ปริมาณน้ำคั้น ปริมาณ TSS ปริมาณ TA และอัตราส่วน TSS:TA (ตารางที่ 2.4)

ตารางที่ 2.4 ผลของ 1-MCP ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อปริมาณน้ำคั้น ปริมาณ TSS ปริมาณ TA และอัตราส่วน TSS:TA

ทรีทเมนต์	ปริมาณน้ำคั้น (%)	ปริมาณ TSS (°Brix)	ปริมาณTA (%)	อัตราส่วน TSS:TA
ชุดควบคุม	37.94	8.9	8.1	1.10
250 ppb	39.79	8.6	8.0	1.07
500 ppb	39.55	8.9	8.0	1.11
750 ppb	40.27	8.7	7.9	1.10
1000 ppb	35.46	9.1	8.2	1.12
F-test	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	13.35	5.35	5.49	5.32

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

วิจารณ์ผลการทดลอง

มะนาวจัดเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric แต่ตอบสนองต่อสาร 1-MCP โดยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจากสีเขียวไปเป็นสีเหลืองช้าลง หรือผลมะนาวมีการเสื่อมสภาพช้าลง (Watkins and Miller, 2005) ซึ่งการเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเป็นการลดมูลค่าของผลิตผล ดังนั้น 1-MCP จึงจำเป็นในการนำมาใช้เพื่อป้องกันการเกิดการเปลี่ยนแปลงของผลิตผลในระยะเสื่อมสภาพ (Watkins, 2006) จากผลการทดลองพบว่า การรมสาร 1-MCP ทุกความเข้มข้น (250 500 750 และ 1,000 ppb) สามารถชะลอการเปลี่ยนสีของผลมะนาวพันธุ์แป้นได้ ส่งผลทำให้มีอายุการเก็บรักษานานกว่าผลมะนาวในชุดควบคุม โดยความเข้มข้นที่ได้ผลดีที่สุดคือที่ 750 ppb การทดลองในครั้งนี้ให้ผลคล้ายกับการศึกษาในมะนาวของ Win และคณะ (2006) ตรงที่การใช้สาร 1-MCP ความเข้มข้น 250 500 และ 750 ppb โดยความเข้มข้นที่ให้ผลดีที่สุดคือสาร 1-MCP 500 ppb อย่างไรก็ตามในการศึกษาของ Win และคณะ (2006) กลับพบว่า การรมสาร 1-MCP 1,000 ppb มีอายุการเก็บรักษาน้อยที่สุดและน้อยกว่าผลมะนาวชุดควบคุม ซึ่งแตกต่างจากผลการทดลองในครั้งนี้ที่การรมสาร 1-MCP ในความเข้มข้นเดียวกันสามารถยืดอายุการเก็บรักษาของมะนาวได้นานกว่าชุดควบคุม โดย Win และคณะ (2006) ได้รายงานว่า มะนาวที่ได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 750 และ 1,000 ppb พบการสูญเสียของผลทำให้การเกิดสีเหลืองเร็วกว่าผลชุดควบคุม จากผลการทดลองอาจสรุปได้ว่าความเข้มข้นของสาร 1-MCP ที่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้กับผลมะนาวพันธุ์แป้นเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิโดยรอบอยู่ที่ 750 ppb ทั้งนี้ ความเข้มข้นที่เหมาะสมหรือปริมาณการใช้สาร 1-MCP ขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตผล สำหรับการใช้สาร 1-MCP ความเข้มข้นที่ใกล้เคียงกับการทดลอง ได้แก่ การใช้ 1-MCP ความเข้มข้น 1 ppb กับมะนาวพันธุ์ ‘Tahiti’ (Kluge *et al.,* 2003; Jomori *et al.,* 2003) ส้มเขียวหวานพันธุ์ ‘Kinnow’ (Tavallali and Moghadam, 2015) และส้มพันธุ์ ‘Pera’ (Rosa *et al.,* 2016) แต่ก็มีการศึกษาที่ใช้ความเข้มข้นต่ำ เช่น การใช้ 1-MCP ความเข้มข้น 100 ppb ส้มเขียวหวานพันธุ์ ‘Shamouti’ (Porat *et al.,* 1999)

การรมสาร 1-MCP กับผลมะนาวพันธุ์แป้นไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก โดยการสูญเสียน้ำหนักทุกทรีทเมนต์มีการเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา ซึ่งคาดว่าเป็นเพราะการสูญเสียน้ำหนักของผลมะนาวถูกควบคุมหรือกั้นโดยชั้นแวกซ์ที่เป็นไขของผล ทำให้ไม่มีความแตกต่างกันของผลมะนาวที่ได้รับสาร 1-MCP และชุดควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับการที่เอทิลีนไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของพืชตระกูลส้ม (Cohen, 1978) ดังนั้น การใช้สาร 1-MCP ซึ่งเป็นสารยับยั้งการทำงานของเอทิลีนจึงไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผล

มะนาวด้วย ซึ่งสอดคล้องกับการให้สาร 1-MCP ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของส้มเขียวหวานพันธุ์ ‘Shamouti’ (Porat *et al.,* 1999)

สำหรับคุณภาพภายในของผลมะนาว จากผลการทดลองพบว่า สาร 1-MCP ทุกความเข้มข้นไม่มีผลต่อปริมาณน้ำคั้น ปริมาณ TSS TA และอัตราส่วนของ TSS:TA ในขณะที่การศึกษาของ Win และคณะ (2006) นั้นพบว่า การใช้สาร 1-MCP ความเข้มข้น 1,000 ppb มีผลทำให้คุณภาพภายในลดลง ซึ่งพวกเขาคาดว่า เกิดขึ้นเนื่องจากความเข้มข้นของสาร 1-MCP สูงเกินไปจนทำให้เกิดความเครียดของเนื้อเยื่อที่เกิดจากความสูญเสีย อีกทั้งความเครียดที่เกิดจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง (25 °C) ซึ่งจะเห็นได้ว่า ผลการทดลองในครั้งนี้มีความแตกต่างจากการศึกษาของ Win และคณะ (2006) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะผลมะนาวพันธุ์แป้นที่ใช้ในการทดลองมีการบรรจุหลังได้รับทรีทเมนต์แตกต่างกัน โดยได้วางผลมะนาวบนถาดโฟมแล้วหุ้มด้วยฟิล์มถนอมอาหาร ในขณะที่ Win และคณะ (2006) ได้บรรจุผลมะนาวไว้ในกล่องกระดาษลูกฟูก จึงมีความเป็นไปได้ว่าผลมะนาวได้รับความเสียหายจากการบรรจุหรือกดทับกันเองของผลมะนาว นอกจากนี้ การรมสาร 1-MCP ที่ไม่ส่งผลต่อคุณภาพภายในของส้มเขียวหวานพันธุ์ ‘Shamouti’ (Porat *et al.,* 1999)

การทดลองที่ 5

ผลของสารเคลือบผิวว่านหางจระเข้ GA_3 และสาร 1-MCP ต่ออายุการเก็บรักษา ปริมาณคลอโรฟิลล์ และกิจกรรมของเอนไซม์ในกระบวนการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ของมะนาวหลังการเก็บเกี่ยว

บทนำ

มะนาวภายหลังจากการเก็บเกี่ยวจะมีการเปลี่ยนแปลงของผลิตผล เช่น การเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกโดยเปลี่ยนจากสีเขียวไปเป็นสีเหลือง (จริงแท้, 2541) เกิดจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ โดยการทำงานของเอนไซม์ chlorophyllase ทำให้สีเขียวหายไป (นิภา, 2540) ซึ่งการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในผลิตผลส่วนใหญ่เกิดขึ้นในคลอโรฟิลล์เอมากกว่าคลอโรฟิลล์บี ถูกกระตุ้นโดยเอนไซม์สำคัญที่เกี่ยวข้องกับกลไกได้แก่ chlorophyll-degrading peroxidase, Mg-dechelating substance, chlorophyllase, pheophytinase, pheophorbide oxygenase และ red chlorophlyll catabolite reductase โดยแต่ละเอนไซม์มีหน้าที่ย่อยและมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันก่อให้เกิดการสะสมของคลอโรฟิลล์แต่ละชนิด ซึ่งสุดท้ายแล้วก็จะเปลี่ยนเป็นสารไม่มีสีที่มีขนาดโมเลกุลเล็ก (colorless low molecular weight compounds) (Aiamla-or *et al.,* 2012) Kaewsuksaeng และคณะ (2011) ได้ศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ chlorophyll-degrading ในมะนาวพันธุ์ Tahitian (*Citrus latofolia* Tan.) หลังการเก็บเกี่ยวโดยทำการหาวิธีตรวจวัดเอนไซม์ พบว่า การฉายรังสีทำให้ค่าสี ปริมาณคลอโรฟิลล์เอลดลง กิจกรรมเอนไซม์ chlorophyll-degrading chlorophyllase, chlorophyll-degrading peroxidase และ pheophytinase ลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งสัมพันธ์กับการเหลืองของมะนาว ดังนั้นจึงต้องมีการใช้วิธีการยืดอายุการเก็บรักษาและควบคุมคุณภาพของมะนาวหลังการเก็บเกี่ยว เช่น การใช้สารเคลือบผิวว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 50 % ซึ่งสามารถยืดอายุการเก็บรักษา และชะลอการเปลี่ยนแปลงสีได้ (ชมพูนุท และลดาวัลย์, 2557) Arowora และคณะ (2012) รายงานการใช้เจลเคลือบผิวว่านหางจระเข้กับส้มพันธุ์ ‘Valencia’ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 96 - 98% โดยเก็บรักษาเป็นเวลา 8 วัน สามารถชะลอการอ่อนนุ่ม และไม่มีผลต่อคุณภาพภายในของผล นอกจากนี้มีการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโต เช่น กรดจิบเบอเรลลิค พบว่าช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีมะนาว จึงทำให้สามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น เจริญ และคณะ (2545) รายงานการใช้สารละลาย GA_3 ความเข้มข้น 100 ppm สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกมะนาวจากสีเขียวไปเป็นสีเหลืองได้ หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 2 เดือน การใช้สาร 1–MCP ความเข้มข้น 750 ppb ที่มีคุณสมบัติยับยั้งการทำงานของเอทิลีนได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Blankenship and Dole, 2003) จึงใช้รักษาความสดของผัก ผลไม้และยืดอายุการวางจำหน่ายของผลิตผลได้ (สายชล, 2555) อย่างไรก็ตาม การใช้อุณหภูมิต่ำในการเก็บรักษาช่วยในการชะลอการสุกและการเน่าเสีย ทำให้ผลิตผลคงความสด เนื่องจากอุณหภูมิต่ำช่วยลดกระบวนการเมทาบอลิซึมต่าง ๆ ของผลิตผล (จริงแท้, 2541) ทั้งนี้ช่วยลดอัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทิลีน ลดการสูญเสียน้ำ การเกิดโรคและการเจริญเติบโตของเชื้อ (Duangsuphan and Shiesh, 2013) ซึ่ง

การเก็บรักษามะนาวที่อุณหภูมิต่ำ 9 - 10 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 85 - 90 % เป็นอุณหภูมิต่ำที่เหมาะสมในการเก็บรักษา ทำให้สามารถเก็บได้ 6 - 8 สัปดาห์ (จริงแท้, 2541) Porat และคณะ (1999)ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการเก็บรักษาส้มพันธุ์ 'Oroblanco' ที่อุณหภูมิ 2 6 12 และ 20 °C ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 90% เป็นเวลา 5 สัปดาห์ พบว่าที่อุณหภูมิ 2 6 และ 12 °C สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีได้ดีที่สุด เมื่อเก็บเป็นเวลา 5 สัปดาห์ นอกจากนี้ Duangsuphan และ Shiesh (2013) ได้รายงานการเก็บรักษาส้มเขียวหวานพันธุ์ 'Ponkan' โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 9 12 15 20 และ 25 °C เป็นเวลา 30 วัน พบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 และ 9 °C สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกได้ ในขณะที่การเก็บที่อุณหภูมิ 6 9 12 และ 15 °C สามารถลดอัตราการเกิดโรคในระหว่างการเก็บรักษาได้ ดังนั้นในการทดลองนี้มีการใช้สารเคลือบผิวว่านหางจระเข้ร่วมกับสารควบคุมการเจริญเติบโตในการยืดอายุการเก็บรักษามะนาว ได้แก่ สารเคลือบผิวว่านหางจระเข้ สารละลาย GA_3 และ 1-MCP ซึ่งความเข้มข้นที่ใช้ในการทดลองนี้ เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมในการยืดอายุการเก็บรักษามะนาวที่มาจากการทดลองที่ 1 - 4 เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและคุณภาพผล ปริมาณคลอโรฟิลล์และเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในระหว่างการเก็บรักษาในสภาพอุณหภูมิโดยรอบและที่อุณหภูมิต่ำ

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุพืช

คัดเลือกมะนาวพันธุ์แป้นที่มีขนาดผลและผิวสีเขียวสม่ำเสมอจำนวนประมาณ 120 ผล มาทำความสะอาดเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 และแบ่งมะนาวออกเป็น 2 ชุดตัวอย่าง คือ ชุดที่ใช้สำหรับวัดเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 และชุดที่ใช้สำหรับเก็บตัวอย่างเปลือกเพื่อใช้วัดปริมาณคลอโรฟิลล์ และทำ acetone powder เพื่อวิเคราะห์เอนไซม์ chlorophyllase และ pheophytinase

วิธีการศึกษา

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) ประกอบด้วย 6 ทรีทเมนต์ ซึ่งแต่ละทรีทเมนต์ได้จากความเข้มข้นที่เหมาะสม คือ 1) ทรีทเมนต์ชุดควบคุม 2) ว่านหางจระเข้ 50 % 3) สารละลาย GA_3 300 ppm 4) ว่านหางจระเข้ 50 % ร่วมกับสารละลาย GA_3 300 ppm โดยนำว่านหางจระเข้ 50 % มาผสมกับสารละลาย GA_3 300 ppm 5) สาร 1-MCP 750 ppb รมเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และ 6) ว่านหางจระเข้ 50 % ร่วมกับการรมสาร 1-MCP 750 ppb โดยทำการรมสาร 1-MCP 750 ppb เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาจุ่มเคลือบด้วยว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 50 % 10 ซ้ำ ซ้ำละ 1 ผล แล้วนำมาบรรจุบนถาดโฟมขนาด 20 cm x 20 cm x 2 cm หุ้มด้วยฟิล์มถนอมอาหาร โดยเก็บรักษาที่ 2 อุณหภูมิ ดังนี้

1. การเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 26.4 ± 1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 64.4 ± 7.4 %
2. การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ 9.9 ± 0.4 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 71.6 ± 2.7 %

การบันทึกผล

บันทึกการเปลี่ยนแปลงของมะนาวภายหลังการให้ทรีทเมนต์เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 และเพิ่มเติมตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาดังนี้

ปริมาณวิตามินซี โดยใช้อินโดฟีนอล (Indophenol method) ดังนี้

<u>การทำมาตรฐานสีย้อมอินโดฟีนอล</u> ละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ 2-3 g ในน้ำกลั่น 5 ml ผสมกับอินโดฟีนอลดาย 0.04 % ปริมาตร 15 ml และกรดไฮโดรคลอริก 1.0 N ปริมาตร 10 ml ทิ้งไว้ 2 นาที จะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองใส จากนั้นไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$) เข้มข้น 0.01 N จนถึงจุดยุติ คือสีชมพูใส นำค่าที่ได้ไปคำนวณตามสูตร

$$1 \text{ ml dye equivalent} = \frac{\text{ml } Na_2S_2O_3 \text{ x N } Na_2S_2O_3 \text{ x 88 x 1000}}{\text{1000 x ml dye}}$$

ml $Na_2S_2O_3$ = ปริมาณสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรตเป็นมิลลิลิตร

N $Na_2S_2O_3$ = ความเข้มข้นของ $Na_2S_2O_3$ ซึ่งเท่ากับ 0.01 N

ml dye = ปริมาตรสารละลายสีย้อมอินโดฟีนอลความเข้มข้น 0.04 % ซึ่งเท่ากับ 15 ml

88 = น้ำหนักสมมูลย์ (equivalent weight) ของวิตามินซี

<u>วิธีการวิเคราะห์</u> นำน้ำคั้นของผลมะนาวมา 5 ml (A) ปรับปริมาตรด้วยกรดออก-ซาลิกเป็น 50 ml (B) จากนั้นนำตัวอย่างทั้งหมด 50 ml มาไทเทรตกับสีย้อมอินโดฟีนอลจนถึง จุดยุติได้สีชมพู นำค่าที่ได้มาคำนวณตามสูตร

$$\text{ปริมาณของวิตามินซี (mg/100 ml juice)} = \frac{\text{B x 100 x dye equi. x ค่าที่ไทเทรตได้}}{\text{A x ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้}}$$

Dye equi. = 1 มิลลิลิตร dye equivalent ที่คำนวณได้จากสูตรข้างต้น

A = น้ำคั้นของมะนาว เท่ากับ 5 ml

B = ปริมาตรที่ปรับด้วยกรดออกซาลิกซึ่งรวม 50 ml

ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้ทั้งหมด = 50 ml

การวัดปริมาณคลอโรฟิลล์

นำเปลือกมะนาวเฉพาะสีเขียวมาหั่นปริมาณ 0.1 กรัม ใน N,N-Dimethyl formamide 0.4 ml หลังจากนั้นเก็บไว้ในที่มืด 1 คืน แล้วนำมาวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 664 และ 647 nm คำนวณปริมาณคลอโรฟิลล์ตามสูตรดังนี้

$$\text{คลอโรฟิลล์เอ } (\mu g/ml) = 12.64\ OD_{664} - 2.99\ OD_{647}$$

$$\text{คลอโรฟิลล์บี } (\mu g/ml) = 23.26\ OD_{647} - 5.6\ OD_{664}$$

คลอโรฟิลล์เอ (mg/100gFW) = คลอโรฟิลล์เอ (µg/ml) x 20.5 x 100/0.5 x 1/1000

คลอโรฟิลล์บี (mg/100gFW) = คลอโรฟิลล์บี (µg/ml) x 20.5 x 100/0.5 x 1/1000

การเตรียมคลอโรฟิลล์ Crude chlorophyll

นำใบผักโขม 15 g เติม acetone 100 % ปริมาตร 60 ml ไปบดด้วยเครื่อง Homogenize เป็นเวลา 3 นาที กรองด้วยกระดาษกรอง 2 ชั้น นำส่วนใสที่กรองแล้วมาเติม dioxane ปริมาตร 10.5 ml และน้ำกลั่นปริมาตร 15 ml แล้วนำไปไว้ในที่มืด อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไป centrifuge 10,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 15 นาที เทส่วนใสออกให้เหลือแต่ตะกอน แล้วเติม acetone 100 % ปริมาตร 40 ml dioxane ปริมาตร 6 ml และน้ำกลั่นปริมาตร 14 ml เก็บไว้ในที่มืด อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไป centrifuge อีกครั้ง แล้วเทส่วนใสออกให้เหลือแต่ตะกอน เติม acetone 100 % ปริมาตร 10 ml เก็บสารสกัดคลอโรฟิลล์ (crude chlorophyll) ไว้ในที่มืด อุณหภูมิ 4 °C

การเตรียม acetone powder

นำเปลือกมะนาว 10 กรัม เติม acetone 100 % ปริมาตร 100 ml นำไปบดให้ละเอียดด้วยเครื่อง Homogenize ที่อุณหภูมิ 4 °C มากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 แล้วนำส่วนตะกอนที่แยกได้มาเติม acetone 100 % ปริมาตร 50 ml แล้วนำไปบดให้ละเอียดด้วยเครื่อง Homogenize ที่อุณหภูมิ 4 °C อีกครั้ง กรองจนตะกอนเป็นสีขาว แล้วล้างอีกครั้งด้วย diethyl ether ปริมาตร 20 ml จะได้ acetone powder ออกมา หลังจากนั้นนำไปเก็บในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วเก็บรักษาที่ -20 °C

กิจกรรมเอนไซม์ chlorophyllase

นำ acetone powder 0.5 กรัม ละลายใน Phosphate buffer ความเข้มข้น 50 mM pH 7.0 (ซึ่งประกอบด้วย KCl ความเข้มข้น 50 mM และ Triton X-100 0.12%) คนให้เข้ากันที่อุณหภูมิ 4 °C นาน 1 ชั่วโมง กรองด้วย Miracloth หลังจากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็ว 16,000 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิ 4 °C นาน 15 นาที เก็บสารละลายส่วนใส (crude enzyme) ไว้สำหรับวัดกิจกรรมเอนไซม์ Chlorophyllase

การวัดกิจกรรมเอนไซม์ chlorophyllase

นำ Crude enzyme ปริมาตร 0.5 ml มาทำปฏิกิริยากับ Triton X-100 ความเข้มข้น 1 % ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร เติม Crude Chlorophyll ความเข้มข้น 500 mg/ml ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร และเติม Phosphate buffer pH 7.5 ที่ความเข้มข้น 10 mM ปริมาตร 0.5 ml บ่มที่อุณหภูมิ 25 °C นาน 60 นาที หลังจากนั้นหยุดปฏิกิริยาโดยการเติม acetone ปริมาตร 2 ml และเติม Hexane ปริมาตร 2 ml นำส่วนของสารละลายชั้นล่างมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 667 nm

กิจกรรมเอนไซม์ pheophytinase

นำ acetone powder 0.5 กรัม เติมละลาย Tris-HCl ความเข้มข้น 50 mM pH 8.0 ปริมาตร 15 ml คนให้เข้ากันที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปกรองด้วย Miracloth แล้วนำไป Centrifuge ที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 4 °C นาน 15 นาที เพื่อให้ได้ Crude enzyme

การเตรียม pheophytin a เพื่อใช้ในการวิเคราะห์กิจกรรมเอนไซม์ pheophytinase

นำ Crude chlorophyll ปริมาตร 3 มิลลิลิตร มาหยด HCl ความเข้มข้น 0.1 N ปริมาตร 2 หยด และเติม NaOH ความเข้มข้น 0.1 N ปริมาตร 2 หยด เขย่าให้เข้ากัน ได้เป็น Pheophytin เก็บไว้ใช้เป็น Substrate ในการวิเคราะห์กิจกรรมเอนไซม์ Pheophytinase

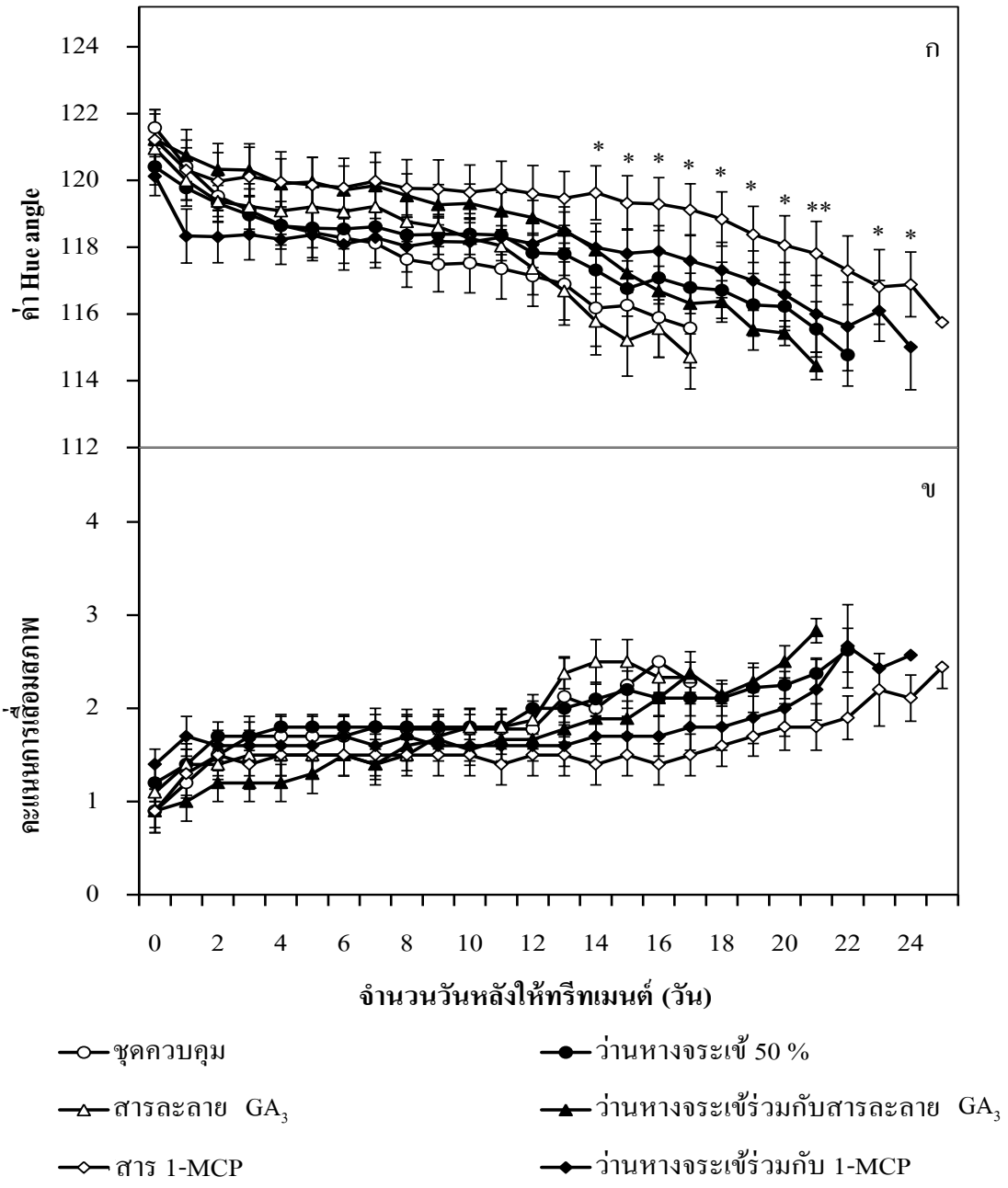
การวัดกิจกรรมเอนไซม์ pheophytinase

นำ Crude enzyme ปริมาตร 0.5 ml มาเติม Tris-HCl ความเข้มข้น 50 mM pH 8.0 0.5 ml pheophytin a 0.2 ml และบ่มไว้ 40 นาที ทำการหยุดปฏิกิริยาด้วย acetone 2 ml และ Hexane 2 ml นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 535 nm

ผลการทดลอง

1. อายุการเก็บรักษาและการเปลี่ยนแปลงค่าสี

เมื่อเก็บรักษามะนาวที่อุณหภูมิ 26.4 ± 1 ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 64.4 ± 7.4 % พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงค่า Hue angle ตลอดการเก็บรักษา โดยมะนาวชุดควบคุมมีการเปลี่ยนแปลงค่า Hue angle ลดลงต่ำกว่าทุกทรีทเมนต์ (ภาพที่ 2.17 ก) เมื่อเปรียบเทียบกับมะนาวที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 750 ppb เพียงอย่างเดียว สามารถชะลอการลดลงของค่า Hue angle ได้ และพบว่าการรมสาร 1-MCP เพียงอย่างเดียว สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกมะนาวได้ดีที่สุด (ภาพที่ 2.18) โดยมีอายุการเก็บรักษา 25 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมมีอายุการเก็บรักษาเพียง 17 วัน (ภาพที่ 2.17 ข) ในขณะที่ทรีทเมนต์ว่านหางจระเข้ สารละลาย GA_3 ว่านหางจระเข้ร่วมกับสารละลาย GA_3 และว่านหางจระเข้ร่วมกับสาร 1-MCP มีอายุการเก็บรักษา 22 17 21 และ 24 วัน ตามลำดับ ซึ่งพบว่าทุกทรีทเมนต์สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ 4-8 วัน เมื่อเทียบกับชุดควบคุม สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงค่า L* a* และ b* พบว่ามะนาวที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 750 ppb เพียงอย่างเดียว สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีและชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า L* a* และ b* ได้ดีที่สุด (ภาพที่ 2.19)

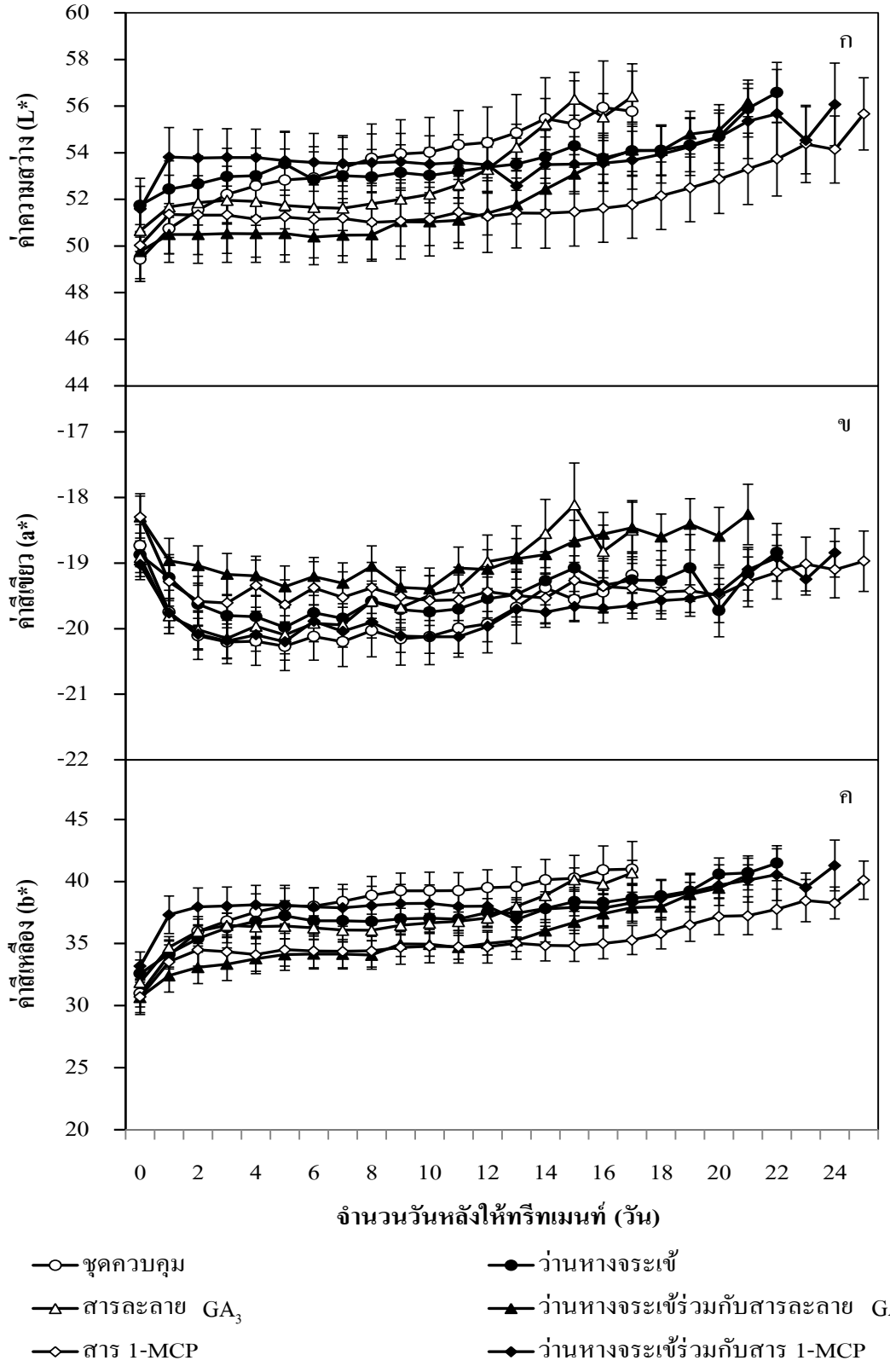


ภาพที่ 2.17 การเปลี่ยนแปลงค่า Hue angle และค่าคะแนนการเสื่อมสภาพของมะนาวหลังจากที่ให้ทรีทเมนต์ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 26.4 ± 1 ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 64.4 ± 7.4 % * แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 % (บาร์แนวตั้ง = ± SE)

ชุดควบคุม	ว่านหางจระเข้	สารละลาย GA_3	ว่านหางจระเข้ร่วมกับสารละลาย GA_3	สาร 1-MCP	ว่านหางจระเข้ร่วมกับสาร 1-MCP

ความเข้มข้นของว่านหางจระเข้ร่วมกับสารควบคุมการเจริญเติบโต

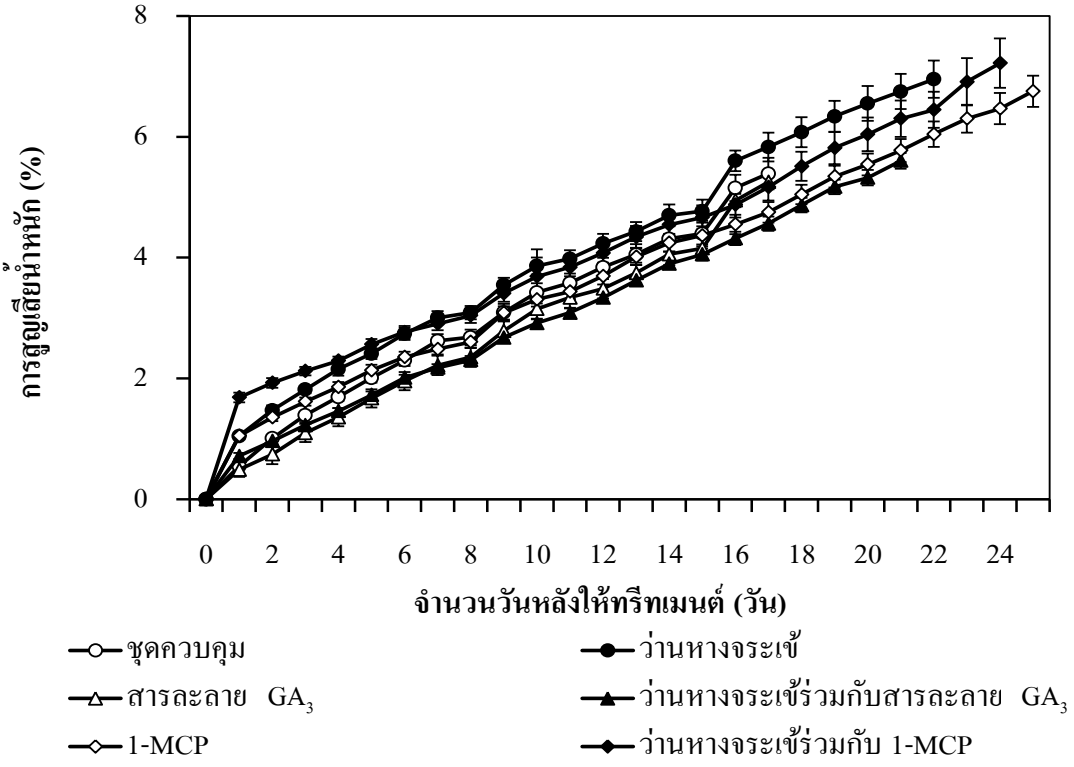
ภาพที่ 2.18 การเปลี่ยนแปลงสีจากเขียวเป็นเหลืองของผลมะนาวในวันที่แช่ว่านหางจระเข้ร่วมกับสารควบคุมการเจริญเติบโต (ก) ผลมะนาวในชุดควบคุมมีคะแนนการเสื่อมสภาพที่ระดับ 3 (ข)



ภาพที่ 2.19 ค่าสี L* (ก) a* (ข) และ b* (ค) ของมะนาวหลังจากที่ให้ทรีทเมนต์ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 26.4 ± 1 ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 64.4 ± 7.4 % เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (บาร์แนวตั้ง = ± SE)

2. การสูญเสียน้ำหนัก (%)

จากการศึกษาพบว่ามะนาวทุกทรีทเมนต์มีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตลอดการเก็บรักษา และทรีทเมนต์ที่ใช้ว่านหางจระเข้ร่วมกับสาร 1-MCP ใน 2 วันแรกมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้น และมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง



ภาพที่ 2.20 การสูญเสียน้ำหนักของมะนาวหลังจากที่ให้ทรีทเมนต์ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 26.4 ± 1 ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 64.4 ± 7.4 % เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ DMRT 95 % (บาร์แนวตั้ง = ± SE)

3. คุณภาพภายใน

คุณภาพภายใน พบว่าปริมาณน้ำคั้นของมะนาวทุกทรีทเมนต์มีค่ามากกว่าชุดควบคุม และทรีทเมนต์ 1-MCP มีปริมาณน้ำคั้นมากสุดคือ 38.42 % ในส่วนปริมาณ TSS TA และ TSS:TA มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ในขณะที่ปริมาณวิตามินซีพบว่า ทรีทเมนต์ว่านหางจระเข้ร่วมกับ 1-MCP มีปริมาณวิตามินซีสูงสุด นอกจากนี้ทรีท-เมนต์ว่านหางจระเข้ร่วมกับสารละลาย GA_3 1-MCP เพียงอย่างเดียว สารละลาย GA_3 เพียงอย่างเดียว และว่านหางจระเข้ มีปริมาณวิตามินซีต่ำกว่าชุดควบคุม ตามลำดับ ซึ่งทรีทเมนต์ว่านหางจระเข้มีปริมาณวิตามินซีต่ำสุดคือ 2.53 (ตารางที่ 2.5)

ตารางที่ 2.5 ผลของทรีทเมนต์ที่ความเข้มข้นที่เหมาะสม ปริมาณน้ำคั้น ปริมาณ TSS ปริมาณ TA อัตราส่วน TSS:TA และปริมาณวิตามินซีที่อุณหภูมิ 26.4 ± 1 ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 64.4 ± 7.4 %

ทรีทเมนต์	ปริมาณน้ำคั้น (%)	ปริมาณ TSS (^{o}Brix)	ปริมาณ TA (%)	อัตราส่วน TSS : TA	ปริมาณวิตามินซี
ชุดควบคุม	33.27 b	8.24	7.50	1.10	3.83 ab
ว่านหางจระเข้	36.56 ab	8.10	7.28	1.12	2.53 d
สารละลาย GA_3	35.33 ab	8.20	7.29	1.13	3.00 cd
ว่านหางจระเข้ร่วมกับสารละลาย GA_3	35.13 ab	8.08	7.28	1.11	3.47 bc
1-MCP	38.42 a	8.14	7.38	1.10	3.37 bc
ว่านหางจระเข้ร่วมกับ 1-MCP	37.05 ab	7.88	7.15	1.10	4.20 a
F-test	*	ns	ns	ns	**
C.V. (%)	11.04	5.23	5.58	4.82	5.67

* แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

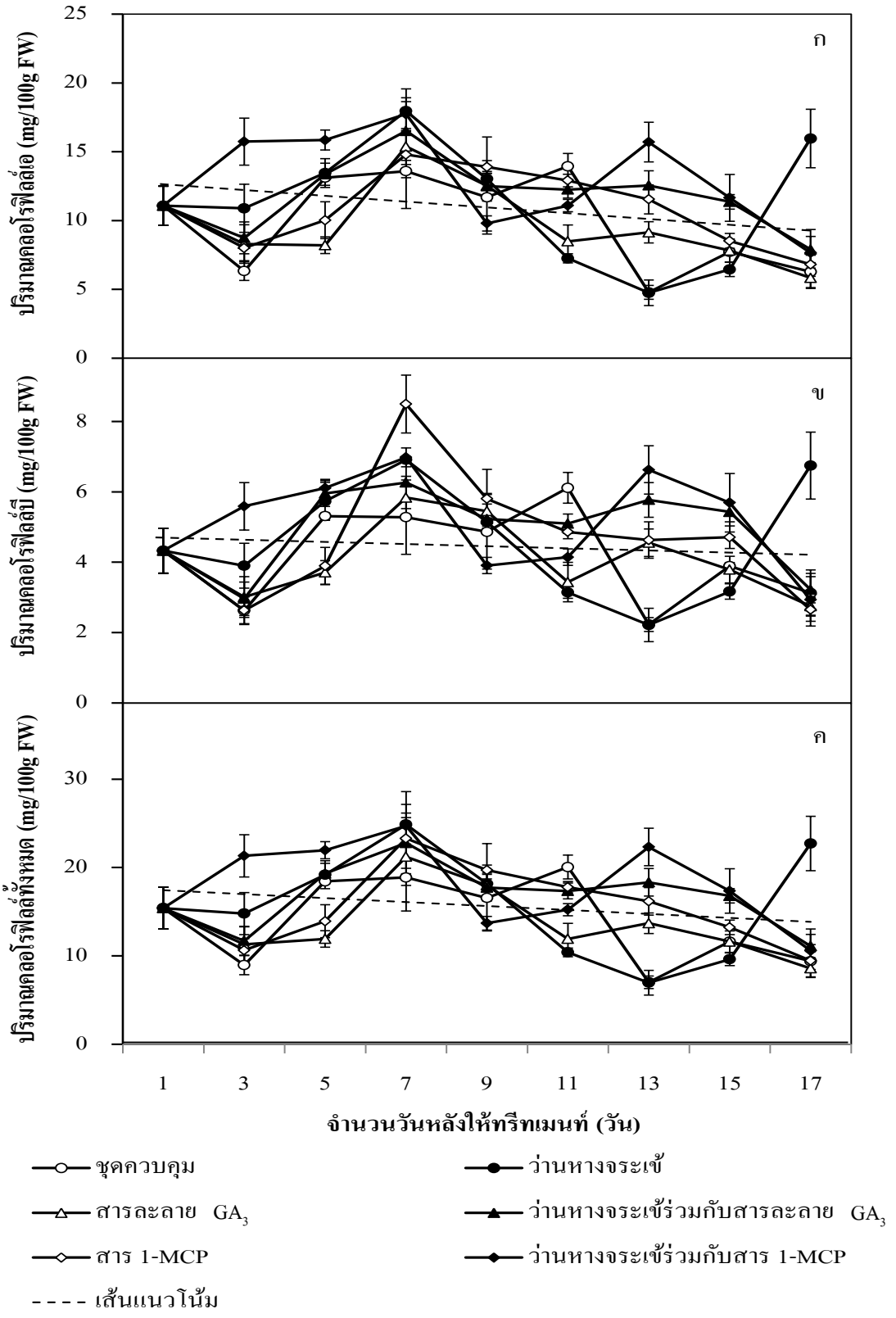
** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ค่าเฉลี่ยในแต่ละสดมภ์ที่ตามด้วยอักษรต่างกันมีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับ $P \leq 0.05$ ด้วยวิธี DMRT

4. ปริมาณคลอโรฟิลล์

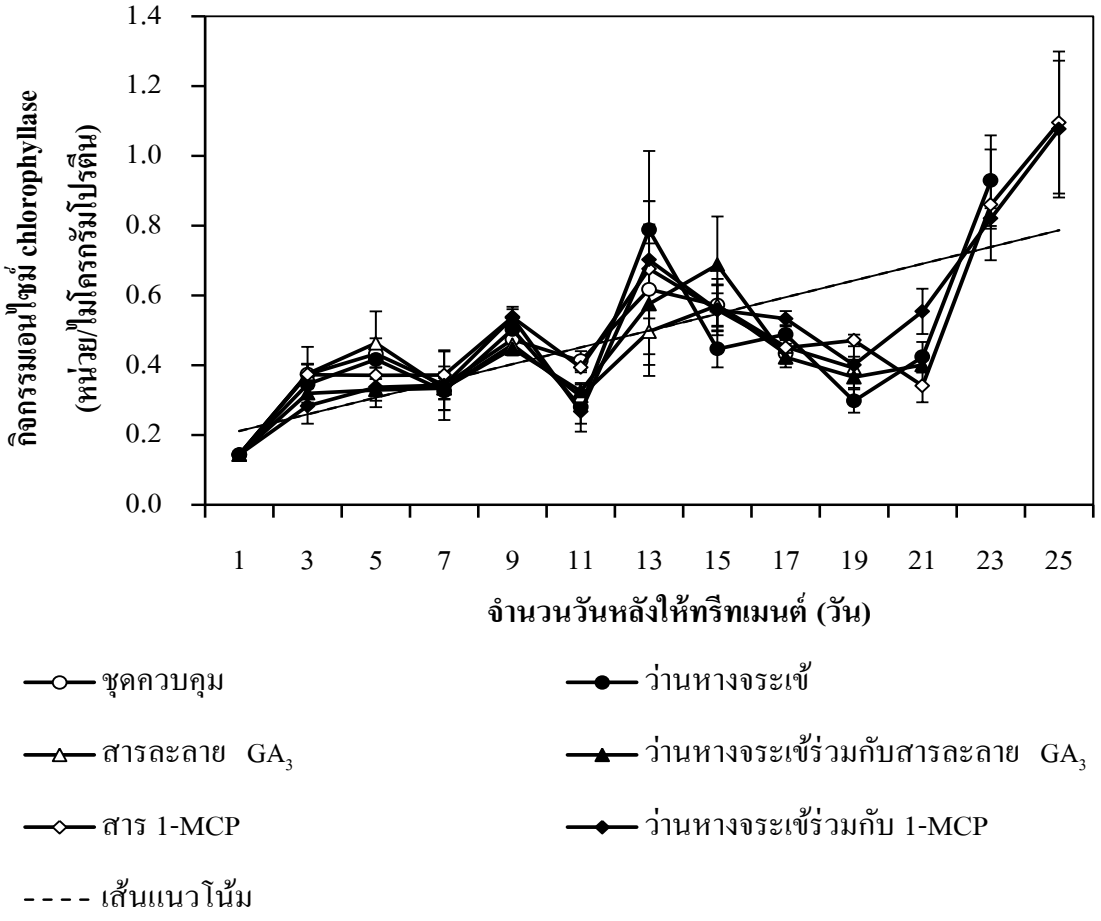
ปริมาณคลอโรฟิลล์เอของมะนาวแต่ละทรีทเมนต์มีปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ไม่แตกต่างกัน แต่พบว่ามีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เช่นเดียวกับปริมาณคลอโรฟิลล์บีและปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดพบว่าแต่ละทรีทเมนต์ไม่มีความแตกต่างกัน แต่มีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 2.21)



ภาพที่ 2.21 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดจากเปลือกมะนาวหลังจากให้ทรีท-เมนต์ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 26.4 ± 1 ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 64.4 ± 7.4 % เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (บาร์แนวตั้ง = ± SE)

5. กิจกรรมของเอนไซม์ chlorophyllase

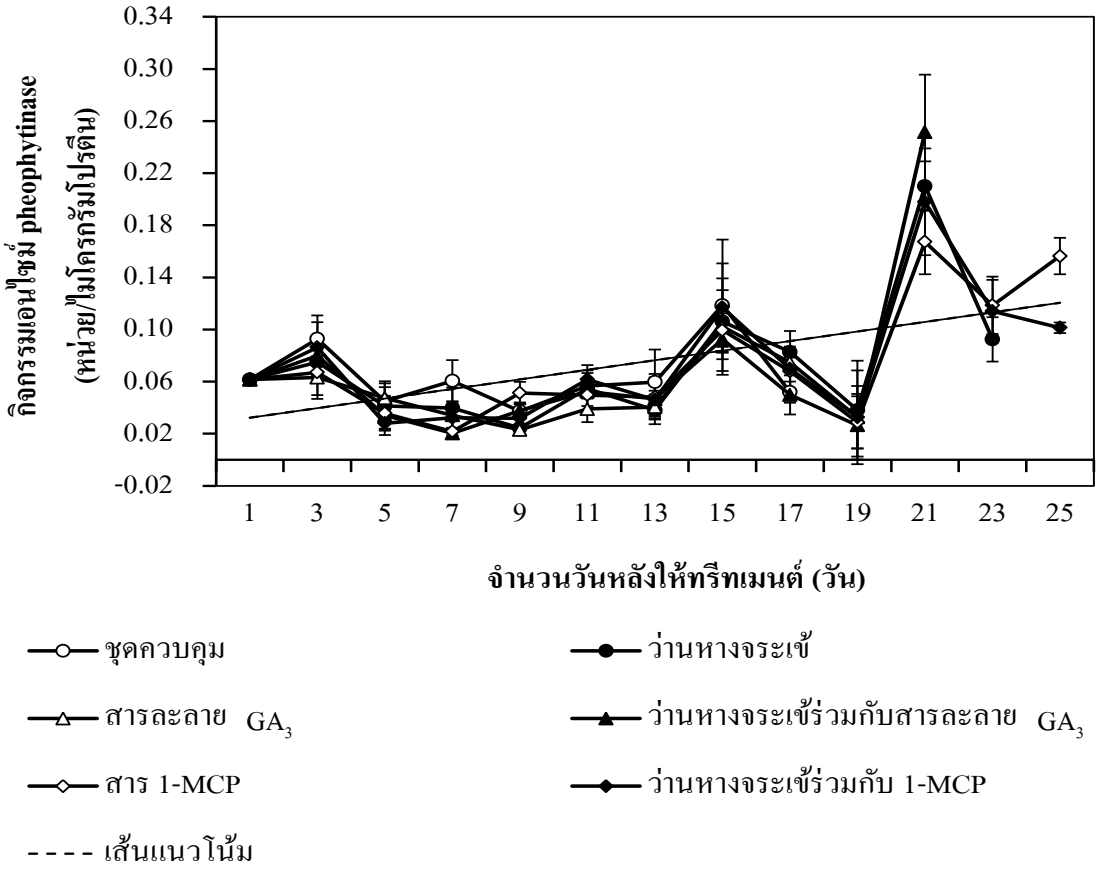
มะนาวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 26.4 ± 1 ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 64.4 ± 7.4 % มีกิจกรรมของเอนไซม์ chlorophyllase ที่ทำหน้าที่สลายคลอโรฟิลล์ ซึ่งทุกทรีทเมนต์มีการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมเอนไซม์ chlorophyllase แต่ไม่มีความแตกต่างกัน นอกจากนี้มะนาวทุกทรีทเมนต์ มีกิจกรรมของเอนไซม์ chlorophyllase มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเสมอตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 2.22)



ภาพที่ 2.22 กิจกรรมของเอนไซม์ chlorophyllase จากเปลือกมะนาวหลังจากให้ทรีทเมนต์ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 26.4 ± 1 ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 64.4 ± 7.4 % เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (บาร์แนวตั้ง = ± SE)

6. กิจกรรมของเอนไซม์ pheophytinase

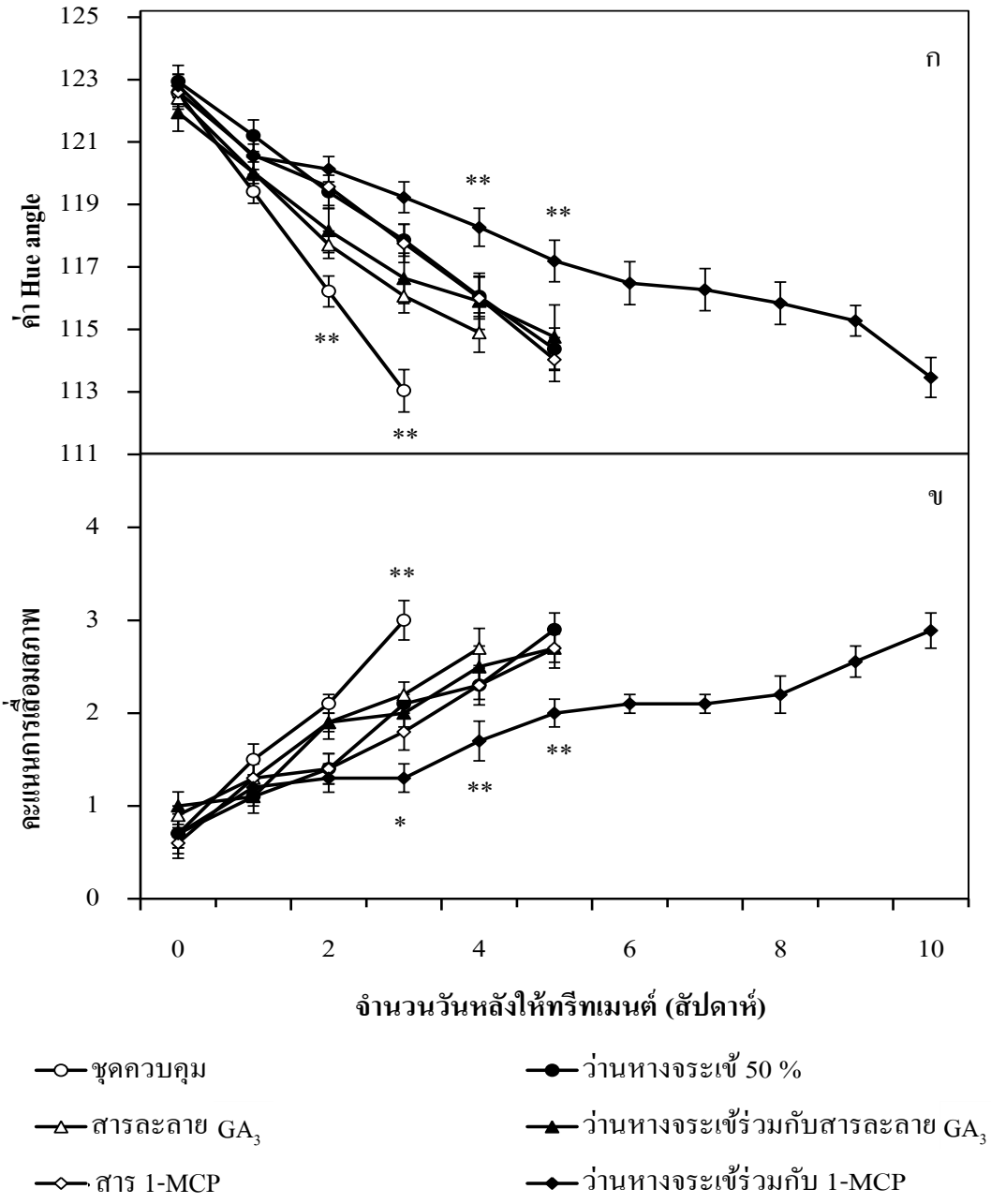
มะนาวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 26.4 ± 1 ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 64.4 ± 7.4 % พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์ pheophytinase ทุกทรีทเมนต์ไม่ได้มีความแตกต่างกัน แต่เมื่อดูจากเส้นแนวโน้มพบว่าทุกทรีทเมนต์มีกิจกรรมเอนไซม์ pheophytinase เพิ่มขึ้นตลอดการเก็บรักษา (ภาพที่ 2.23)



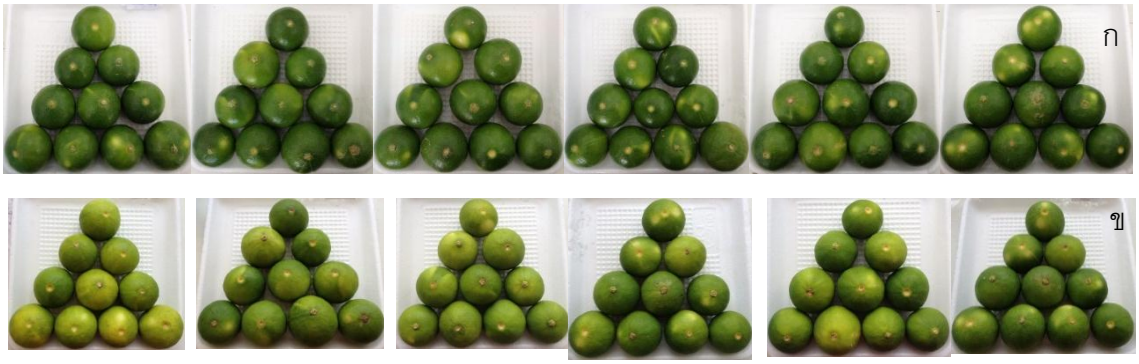
ภาพที่ 2.23 กิจกรรมของเอนไซม์ pheophytinase จากเปลือกมะนาวหลังจากให้ทรีทเมนต์ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 26.4 ± 1 ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 64.4 ± 7.4 % เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (บาร์แนวตั้ง = ± SE)

7. อายุการเก็บรักษาและการเปลี่ยนแปลงค่าสีที่อุณหภูมิต่ำ

เมื่อเก็บรักษามะนาวที่อุณหภูมิ 9.9 ± 0.4 ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 71.6 ± 2.7 % พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของค่า Hue angle ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยมะนาวชุดควบคุมมีค่า Hue angle ต่ำกว่าทุกทรีทเมนต์ (ภาพที่ 2.24 ก) และเมื่อเปรียบเทียบกับมะนาวที่ใช้ว่านหางจระเข้ร่วมกับ 1-MCP สามารถชะลอการลดลงของค่า Hue angle ได้ และชุดควบคุมสามารถเก็บรักษาได้ประมาณ 3 สัปดาห์ ในขณะที่การใช้ว่านหางจระเข้ร่วมกับ 1-MCP เก็บรักษาได้ถึง 10 สัปดาห์ (ภาพที่ 2.24 ข) ซึ่งพบว่าสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกมะนาวได้ดีที่สุด (ภาพที่ 2.25) ส่วนทรีทเมนต์ว่านหางจระเข้ สารละลาย GA_3 ว่านหางจระเข้ร่วมกับสารละลาย GA_3 และ 1-MCP มีอายุการเก็บรักษา 5 4 5 และ 5 สัปดาห์ ตามลำดับ ซึ่งทุกทรีทเมนต์สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ดีดว่าชุดควบคุม 1-7 สัปดาห์ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม และการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกมะนาวสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงค่า L* a* และ b* โดยทรีทเมนต์ว่านหางจระเข้ร่วมกับ 1-MCP สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีและชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า L* a* และ b* ได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (ภาพที่ 2.26)

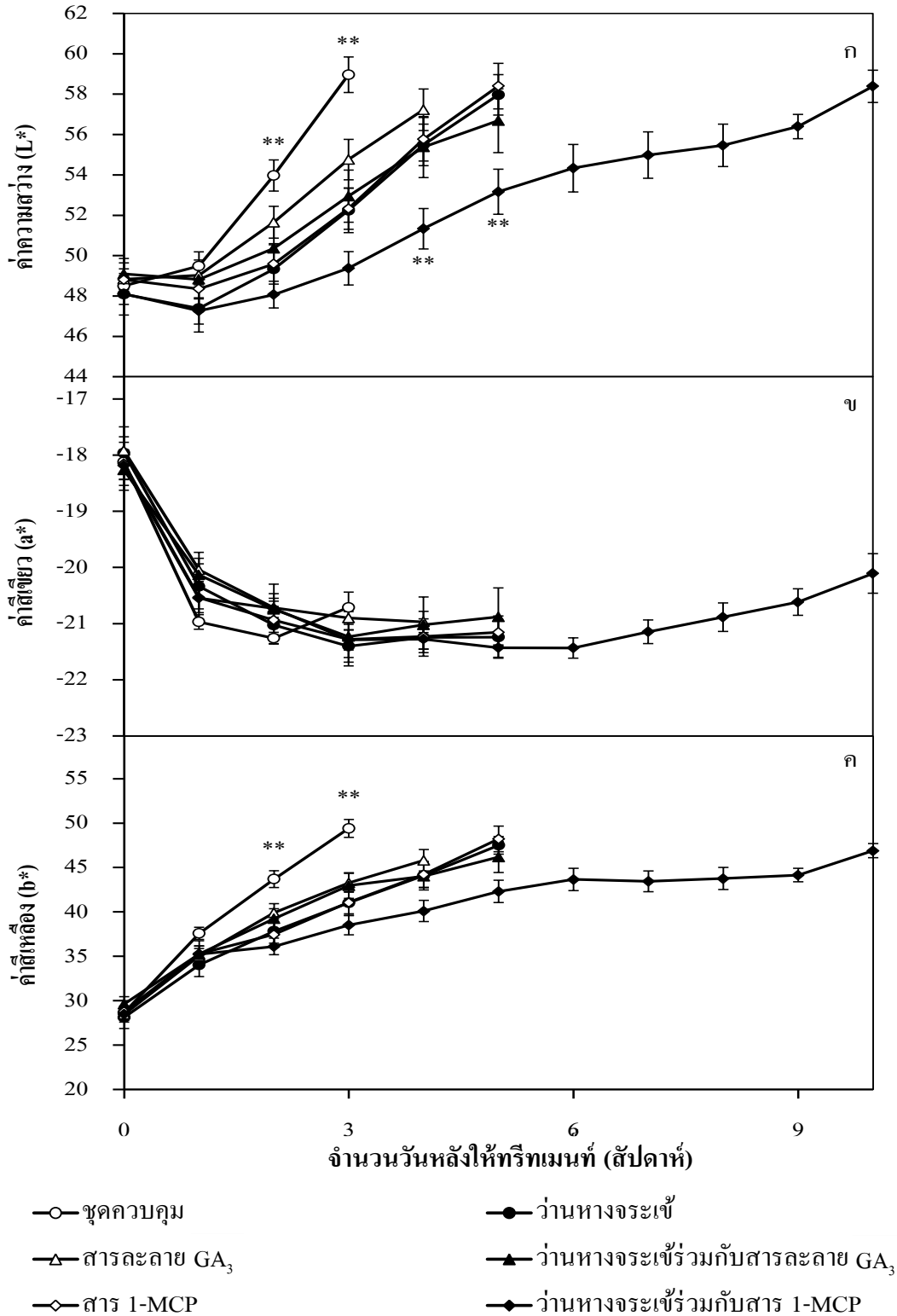


ภาพที่ 2.24 การเปลี่ยนแปลงค่า Hue angle และค่าคะแนนการเสื่อมสภาพของมะนาวหลังจากที่ให้ทรีทเมนต์ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 9.9 ± 0.4ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 71.6 ± 2.7 % ** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (บาร์แนวตั้ง = ± SE)



ความเข้มข้นของว่านหางจระเข้ร่วมกับสารควบคุมการเจริญเติบโต

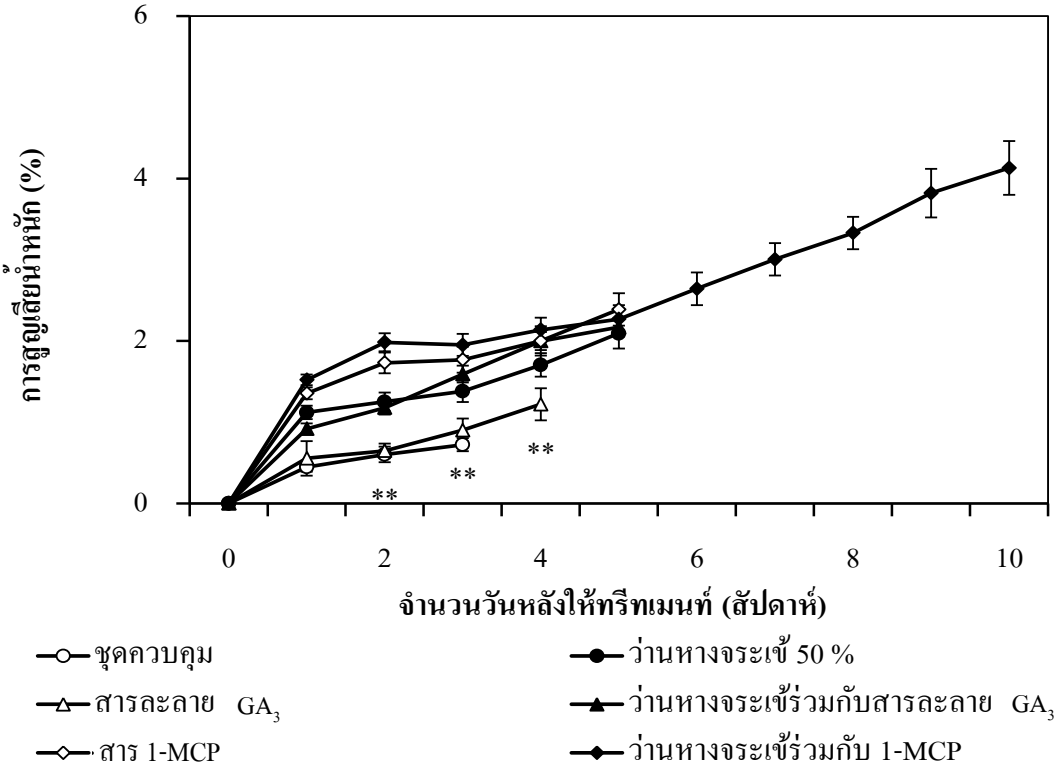
ภาพที่ 2.25 การเปลี่ยนแปลงสีจากเขียวเป็นเหลืองของผลมะนาวในวันที่แช่ว่านหางจระเข้ร่วมกับสารควบคุมการเจริญเติบโต (ก) ผลมะนาวในชุดควบคุมมีคะแนนการเสื่อมสภาพที่ระดับ 3 (ข)



ภาพที่ 2.26 ค่าสี L* (ก) a* (ข) และ b* (ค) ของมะนาวหลังจากที่ให้ทรีทเมนต์ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 9.9 ± 0.4ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 71.6 ± 2.7 % ** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (บาร์แนวตั้ง = ± SE)

8. การสูญเสียน้ำหนัก (%)

มะนาวชุดควบคุมและสารละลาย GA_3 มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าทุกทรีทเมนต์ เมื่อเปรียบเทียบกับทรีทเมนต์ว่านหางจระเข้ ว่านหางจระเข้ร่วมกับสารละลาย GA_3 1-MCP และว่านหางจระเข้ร่วมกับ 1-MCP พบว่ามะนาวมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 2.27)



ภาพที่ 2.27 การสูญเสียน้ำหนักของมะนาวหลังจากที่ให้ทรีทเมนต์ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 9.9 ± 0.4 ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 71.6 ± 2.7 % ** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (บาร์แนวตั้ง = ± SE)

9. คุณภาพภายใน

คุณภาพภายในผลมะนาว พบว่าปริมาณน้ำคั้นของมะนาวชุดควบคุมมีค่ามากกว่าทรีทเมนต์อื่น ยกเว้นสารละลาย GA_3 ที่มีปริมาณน้ำคั้นมากสุดคือ 37.73 % นอกจากนี้ยังพบว่าทรีทเมนต์ว่านหางจระเข้มีค่าปริมาณน้ำคั้นน้อยที่สุด TSS:TA พบว่าในชุดควบคุมมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทุกทรีทเมนต์ และทรีทเมนต์ว่านหางจระเข้และสารละลาย GA_3 มีอัตราส่วน TSS:TA สูงที่สุด อย่างไรก็ตามปริมาณ TSS TA และปริมาณวิตามินซีมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 2.6)

ตารางที่ 2.6 ผลของทรีทเมนต์ที่ความเข้มข้นที่เหมาะสม ปริมาณน้ำคั้น ปริมาณ TSS ปริมาณ TA อัตราส่วน TSS:TA และปริมาณวิตามินซีที่อุณหภูมิ 9.9 ± 0.4 ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 71.6 ± 2.7 %

ทรีทเมนต์	ปริมาณน้ำคั้น (%)	ปริมาณ TSS (^{o}Brix)	ปริมาณ TA (%)	อัตราส่วน TSS:TA	ปริมาณวิตามินซี
ชุดควบคุม	36.09 ab	8.26 ab	7.20 a	1.14 b	2.7
ว่านหางจระเข้	31.44 b	7.82 b	6.27 b	1.26 a	2.66
สารละลาย GA_3	37.73 a	8.6 a	6.92 ab	1.26 a	2.63
ว่านหางจระเข้ร่วมกับสารละลาย GA_3	34.7 ab	8.14 ab	6.95 ab	1.18 ab	2.70
1-MCP	34.24 ab	8.26 ab	7.08 a	1.17 ab	2.77
ว่านหางจระเข้ร่วมกับ 1-MCP	33.44 ab	8.12 ab	6.77 ab	1.22 ab	2.53
F - test	**	ns	ns	*	ns
C.V. (%)	11.77	7.99	11.25	8.72	13.72

* แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

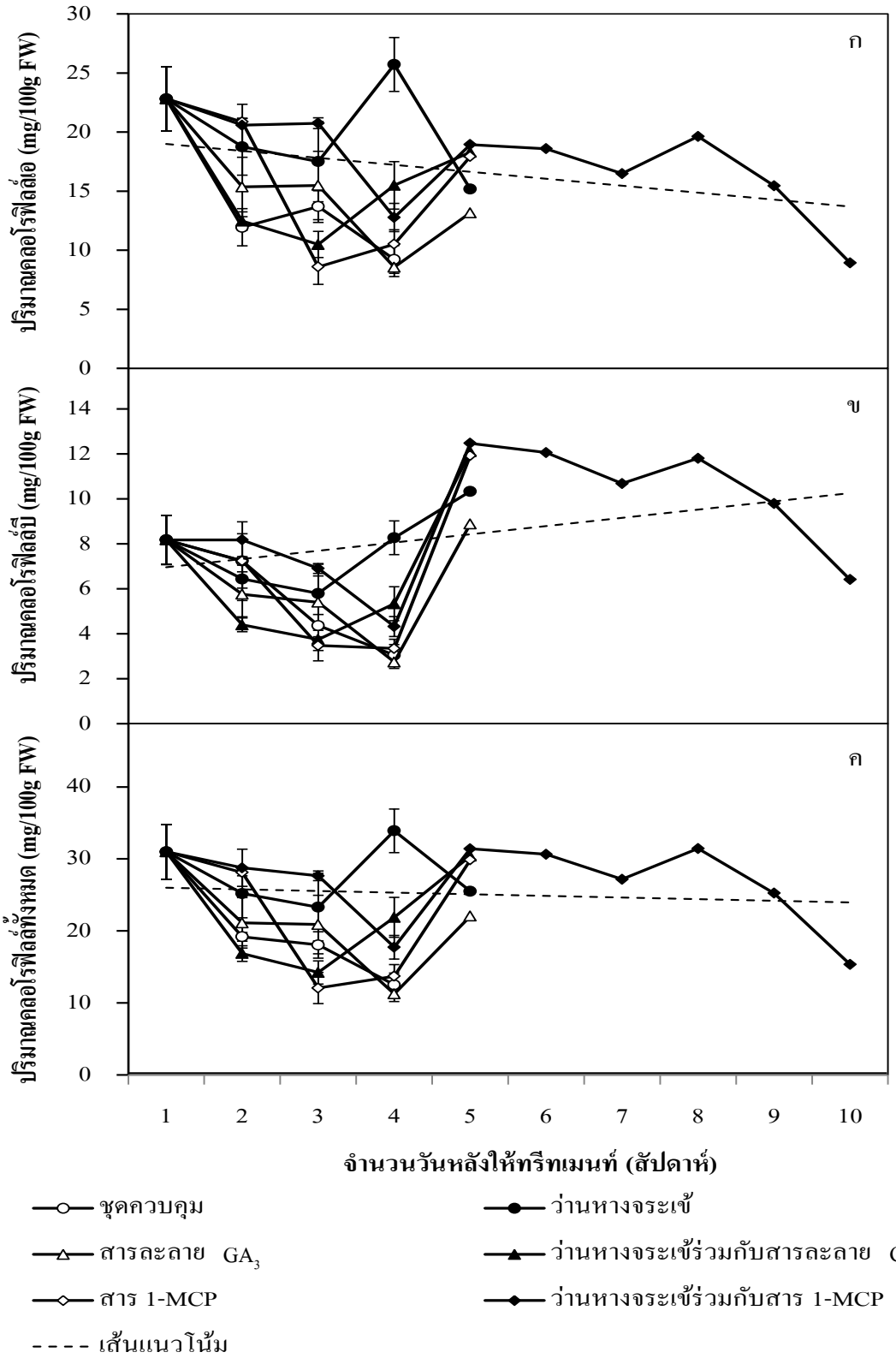
** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ค่าเฉลี่ยในแต่ละสดมภ์ที่ตามด้วยอักษรต่างกันมีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับ $P \leq 0.05$ ด้วยวิธี DMRT

10. ปริมาณคลอโรฟิลล์

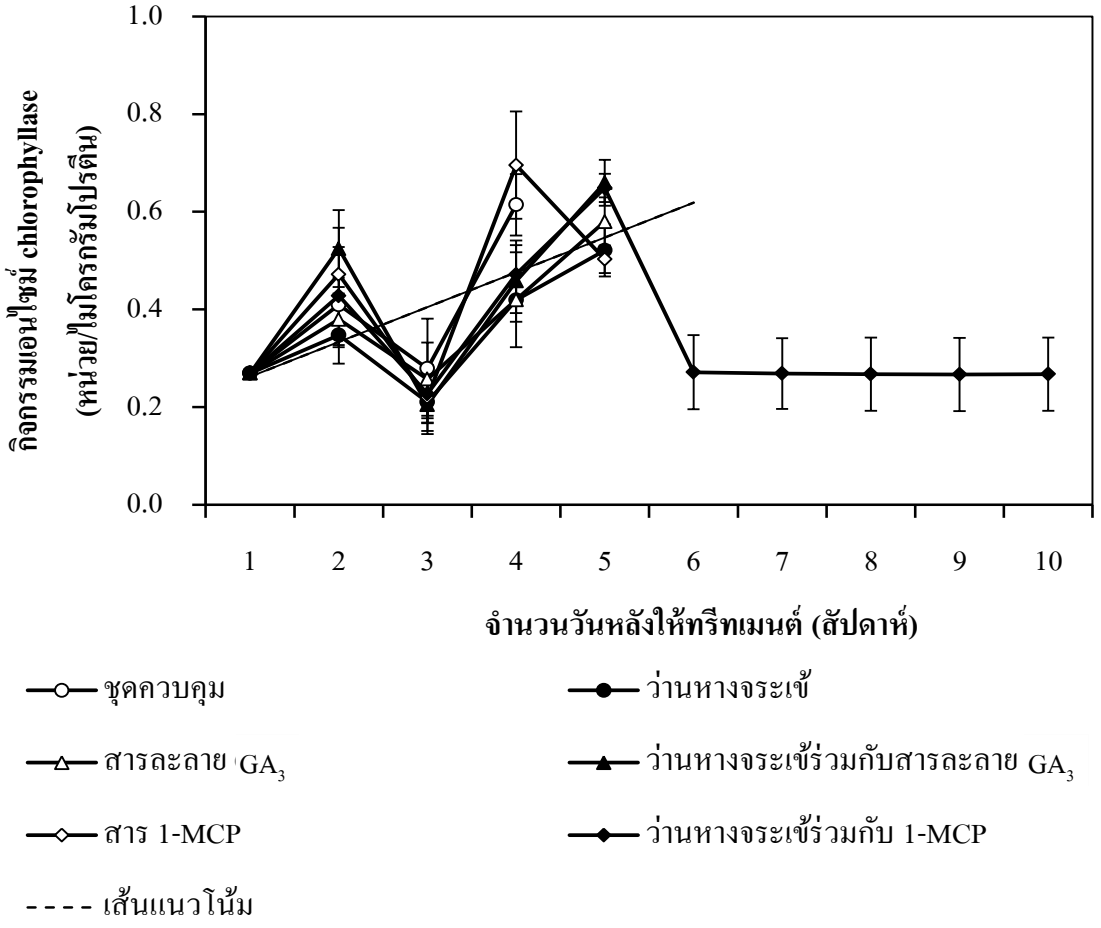
ปริมาณคลอโรฟิลล์เอของมะนาวแต่ละทรีทเมนต์มีปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ไม่แตกต่างกัน แต่พบว่ามีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์บีพบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดนั้นพบว่าแต่ละทรีทเมนต์ไม่มีความแตกต่างกัน แต่มีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 2.28)



ภาพที่ 2.28 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดจากเปลือกมะนาวหลังจากให้ทรีท-เมนต์ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 9.9 ± 0.4 ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 71.6 ± 2.7 % เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (บาร์แนวตั้ง = ± SE)

11. กิจกรรมของเอนไซม์ chlorophyllase

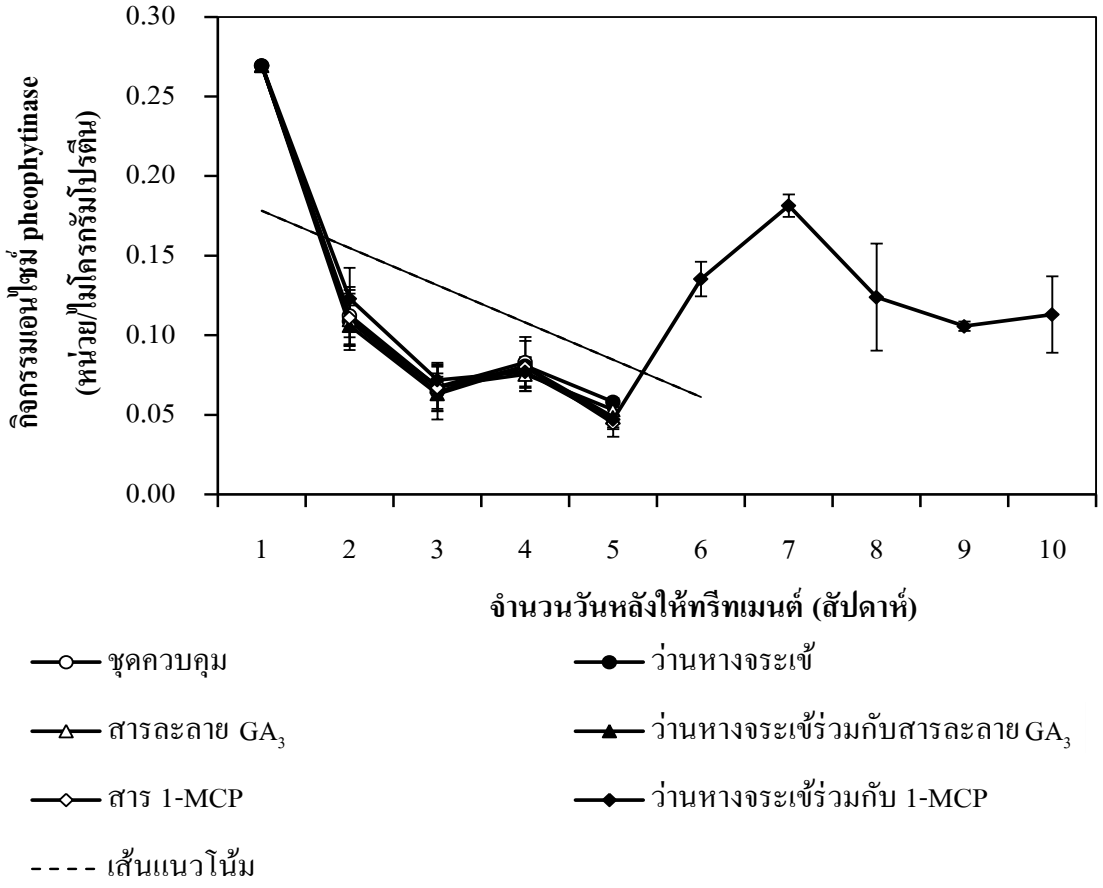
มะนาวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 9.9 ± 0.4 ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 71.6 ± 2.7 % มีกิจกรรมของเอนไซม์ chlorophyllase ที่ทำหน้าที่สลายคลอโรฟิลล์ ซึ่งทุกทรีทเมนต์มีการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมเอนไซม์ chlorophyllase และลดลงในตอนท้ายของการเก็บรักษา แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ นอกจากนี้มะนาวทุกทรีทเมนต์ มีกิจกรรมของเอนไซม์ chlorophyllase ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 2.29)



ภาพที่ 2.29 กิจกรรมของเอนไซม์ chlorophyllase จากเปลือกมะนาวหลังจากให้ทรีทเมนต์ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 9.9 ± 0.4 ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 71.6 ± 2.7 % เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (บาร์แนวตั้ง = ± SE)

12. กิจกรรมของเอนไซม์ pheophytinase

มะนาวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 9.9 ± 0.4 ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 71.6 ± 2.7 % พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์ pheophytinase ทุกทรีทเมนต์ไม่ได้มีความแตกต่างกัน แต่เมื่อดูจากเส้นแนวโน้มพบว่าทุกทรีทเมนต์มีกิจกรรมเอนไซม์ pheophytinase ลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 2.30)



ภาพที่ 2.30 กิจกรรมของเอนไซม์ pheophytinase จากเปลือกมะนาวหลังจากให้ทรีทเมนต์ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 9.9 ± 0.4 ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 71.6 ± 2.7 % เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (บาร์แนวตั้ง = ± SE)

วิจารณ์ผลการทดลอง

ผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยวมักจะมีปัญหาเรื่องคุณภาพและอายุการเก็บรักษา โดยปัจจัยที่ทำให้มะนาวมีอายุการเก็บรักษาสั้นคือ การหายใจ การคายน้ำ การเข้าทำลายของโรค จึงทำให้มะนาวเกิดการเสื่อมสภาพเร็วขึ้น (สุจิตรา และเศรษฐา, 2544) ดังนั้นจึงใช้วิธีการต่างๆ เพื่อชะลอการเสื่อมสภาพ จากผลการทดลองมีการเก็บรักษามะนาวที่อุณหภูมิห้อง พบว่า การรมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 750 ppb เพียงอย่างเดียว ทำให้มีอายุการเก็บรักษานานกว่ามะนาวในชุดควบคุม สามารถชะลอการเปลี่ยนสีของมะนาวพันธุ์แป้นได้ ซึ่งสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ที่มีแนวโน้มลดลง โดยเกิดจากกิจกรรมเอนไซม์ chlorophyllase และ pheophytinase ให้ผลการศึกษาที่คล้ายกับการศึกษาในมะนาวของ Win และคณะ (2006) ที่มีการรม 1-MCP ความเข้มข้น 500 ppb สามารถชะลอการเหลืองของมะนาวได้ดีสุด ซึ่งชะลอการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ และชะลอการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมเอนไซม์ chlorophyllase ทั้งนี้เนื่องจาก 1-MCP ทำหน้าที่ไปยับยั้งการทำงานของเอทิลีน จึงมีส่วนในการชะลอการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงสีที่ช้าลง (Win *et al.,* 2006) ขณะเดียวกันในการเก็บรักษามะนาวที่อุณหภูมิต่ำ พบว่า การใช้สารเคลือบผิวว่านหางจระเข้ร่วมกับการรม 1-MCP มีอายุการเก็บรักษานานกว่าชุดควบคุมและทรีทเมนต์อื่น สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสี ซึ่งชะลอการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด แต่พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์บีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งไม่สัมพันธ์กับการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ที่เกิดจากกิจกรรมเอนไซม์ chlorophyllase และ pheophytinase สำหรับการใช้อุณหภูมิต่ำเก็บรักษามะนาว จะช่วยชะลอการสุกและการเน่าเสีย ทำให้คงสภาพความสดของผลิตผลได้นาน เนื่องจากอุณหภูมิต่ำจะช่วยลดกระบวนการเมแทบลิซึมต่างๆ ภายในเซลล์ เช่น อัตราการหายใจและการสังเคราะห์เอทิลีนเกิดช้าลง (ดนัยและนิธิยา, 2531) อีกทั้งยังลดการสูญเสียน้ำ การเกิดโรคและการเจริญเติบโตของเชื้อ (Duangsuphan and Shiesh, 2013) ทั้งนี้พบว่าการใช้ 1-MCP ร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ มีประสิทธิภาพในการชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ (Win *et al.,* 2006) ได้แก่ การใช้ 1-MCP 1 ppb กับมะนาวพันธุ์ ‘Tahiti’ เก็บรักษาที่ 5 °C (Kluge *et al.,* 2003; Jomori *et al.,* 2003) ส้มเขียวหวานพันธุ์ ‘Shamouti’ (Cohen, 1978) และ Porat และคณะ (2001) เก็บรักษาส้มที่อุณหภูมิต่ำพบว่าสามารถชะลอการเสื่อมสภาพและการสูญเสียคลอโรฟิลล์ได้ แต่อย่างไรก็ตามจากการทดลอง การใช้ 1-MCP สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีที่อุณหภูมิห้องได้ดีที่สุด แต่ที่สภาพอุณหภูมิต่ำ พบว่า การใช้ว่านหางจระเข้ร่วมกับ 1-MCP สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสี และยืดอายุการเก็บรักษามะนาวได้นานที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากว่านหางจระเข้มีคุณสมบัติกั้นการผ่านเข้า-ออก

ของออกซิเจนและความชื้นที่เป็นสาเหตุให้เกิดการเสื่อมสภาพของผลิตผล (Athmaselvi *et al.,* 2013) อีกทั้งว่านหางจระเข้ช่วยรักษาคุณภาพของผลไม้ และมีความปลอดภัยในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (Sharma and Gautam, 2013) จากการทดลองเมื่อนำมาเคลือบผิวด้วยว่านหางจระเข้และใช้ร่วมกับ 1-MCP จึงสามารถเก็บรักษาได้นานที่สุด และชะลอการเปลี่ยนแปลงสีได้ดีที่สุดเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

การเก็บรักษามะนาวพันธุ์แป้นที่อุณหภูมิห้องไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก โดยการสูญเสียน้ำหนักของทุกทรีทเมนต์เพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา ซึ่งอาจเป็นเพราะในช่วงระหว่างการทดลองสภาพในห้องทดลองมีอุณหภูมิค่อนข้างสูงแต่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ อีกทั้งสารเคลือบผิวว่านหางจระเข้ในการทดลองไม่ได้มีคุณสมบัติเป็นฟิล์ม ซึ่งเมื่อนำมาเคลือบผลิตผลแล้ว อาจเกิดรอยแตกหรือรอยแยกที่บริเวณผิว อาจเป็นสาเหตุให้มีการคายน้ำออกจากผลิตผลได้ตามปกติ และสารละลาย GA_3 ไม่ได้เป็นการเคลือบผิวจึงไม่มีผลต่อการเคลื่อนที่ผ่านเข้าออกของน้ำและก๊าซทางช่องเปิดต่างๆ ซึ่งมีการสูญเสียน้ำผ่านทางคิวติเคิลได้ (จริงแท้, 2541; 2553) ในขณะที่ 1-MCP เป็นสารยับยั้งการทำงานของเอทิลีนจึงไม่มีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักของมะนาว เมื่อเปรียบเทียบกับการเก็บรักษามะนาวพันธุ์แป้นที่อุณหภูมิต่ำ จากการทดลองพบว่า ชุดควบคุมและทรีทเมนต์สารละลาย GA_3 เพียงอย่างเดียว สามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักได้ดีที่สุด ซึ่งคาดว่าการใช้สารละลาย GA_3 อาจไปลดการสร้างเอทิลีน จึงทำให้ผลิตผลมีการหายใจที่ช้าลง (จริงแท้, 2541; 2553) โดยเอทิลีนมีความสัมพันธ์กับอัตราการหายใจ (พีรเดช, 2537) ซึ่งการสูญเสียน้ำหนักเกี่ยวข้องกับการหายใจและการระเหยออกของน้ำในผลิตผล (Amarante, 2001) ดังนั้น การใช้สารละลาย GA_3 อาจทำให้ผลิตผลมีการหายใจช้าลง จึงทำให้มีน้ำระเหยออกจากผลิตผลน้อย และเป็นข้อสังเกตว่าหากมีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่านี้อาจทำให้มะนาวที่ใช้สารละลาย GA_3 สามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น ในขณะที่การใช้ว่านหางจระเข้ร่วมกับ 1-MCP พบว่ามีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตลอดการเก็บรักษา แต่มีอายุการเก็บรักษานานที่สุด สอดคล้องกับ Porat และคณะ (1999) มีการใช้ 1-MCP ความเข้มข้น 100 ppb ในส้มเขียวหวานพันธุ์ ‘Shamouti’ แล้วเก็บในที่มืดเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 20 °C และเก็บที่อุณหภูมิ 2 °C เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของส้มเขียวหวานพันธุ์ ‘Shamouti’ โดย 1-MCP และเอทิลีนไม่มีผลต่อการชะลอการสูญเสียน้ำหนัก คาดว่าการสูญเสียน้ำหนักของมะนาวถูกควบคุมโดยชั้นของแวกซ์ที่เป็นไข ทำให้มะนาวที่ใช้ว่านหางจระเข้ร่วมกับ 1-MCP มีการสูญเสียน้ำหนักตลอดการเก็บรักษา

สำหรับคุณภาพภายในผลของมะนาว จากผลการทดลองพบว่า มะนาวชุดควบคุมมีปริมาณน้ำคั้นน้อยที่สุด อาจเป็นเพราะมะนาวชุดควบคุมเป็นมะนาวที่ไม่ได้รับการให้สาร เมื่อเก็บรักษาที่สภาพอุณหภูมิห้อง (26.4 °C) และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ จึงเร่งให้เกิดปฏิกิริยาต่างๆ ภายใน

เกิดกระบวนการเมทาบอลิซึม ดังนั้นเมื่อเก็บเป็นระยะเวลานานขึ้น จะมีการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากน้ำระเหยออกจากผลิตผล จากผลการทดลองจึงส่งผลให้ปริมาณน้ำคั้นในชุดควบคุมมีปริมาณน้อยกว่าทรีทเมนต์อื่น สำหรับการเก็บรักษามะนาวที่อุณหภูมิห้องไม่มีผลต่อ ปริมาณ TSS TA และอัตราส่วน TSS:TA อาจเป็นเพราะไม่มีความแตกต่างกันของอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนระหว่างผลมะนาวในชุดควบคุมและที่ได้รับทรีทเมนต์ ส่วนปริมาณวิตามินซี พบว่าการใช้ว่านหางจระเข้ร่วมกับ 1-MCP มีปริมาณวิตามินซีสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบคุณภายผลภายในของมะนาวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำพบว่า ปริมาณน้ำคั้นของชุดควบคุมมีปริมาณมากที่สุด เนื่องจากปริมาณน้ำในแวคิวโอลจะเพิ่มขึ้นตามอายุของผลิตผล ทั้งนี้เพราะนอกจากน้ำที่สะสมในเซลล์จะมากขึ้นแล้ว ผนังเซลล์ยังอ่อนตัวลงทำให้คั้นน้ำได้มากขึ้นด้วย (จริงแท้, 2541) จึงทำให้มะนาวชุดควบคุมมีปริมาณน้ำคั้นมาก และอาจเป็นไปได้ว่าจากผลการทดลองมะนาวในชุดควบคุมมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำน้อย จึงทำให้มะนาวในชุดควบคุมมีปริมาณน้ำคั้นภายในผลมาก ส่วนปริมาณ TSS TA และปริมาณวิตามินซีพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ทั้งนี้การใช้อุณหภูมิต่ำในการเก็บรักษา ช่วยลดอัตราการคายน้ำของผล และสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงกระบวนการเมทาบอลิซึมต่างๆ ภายในผล ส่งผลให้กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเกิดขึ้นช้าลง (สายชล, 2530)

บทที่ 3
สรุป

จากการศึกษาผลของสารเคลือบผิวว่านหางจระเข้และสารควบคุมการเจริญเติบโตบางชนิดต่อการยืดอายุการเก็บรักษาของผลมะนาวพันธุ์แป้น สรุปได้ว่า

1. ผลของสารเคลือบผิวว่านหางจระเข้ต่อการยืดอายุการเก็บรักษามะนาว

1.1 อายุการเก็บรักษาและการเปลี่ยนแปลงค่าสี พบว่า มะนาวที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 50% สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือก ชะลอการลดลงของค่า Hue angle และชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า L* a* และ b* โดยมีอายุการเก็บรักษา 16 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่มีอายุการเก็บรักษา 6 วัน

1.2 การสูญเสียน้ำหนัก พบว่า มะนาวที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวว่านหางจระเข้ทุกความเข้มข้นมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตลอดการเก็บรักษาแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

1.3 คุณภาพภายใน พบว่า มะนาวที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวว่านหางจระเข้ทุกความเข้มข้นมีปริมาณน้ำคั้น ปริมาณ TSS ปริมาณ TA และอัตราส่วน TSS:TA ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

2. ผลของการใช้ SA ต่อการยืดอายุการเก็บรักษามะนาว

2.1 อายุการเก็บรักษาและการเปลี่ยนแปลงค่าสี พบว่า มะนาวที่แช่ SA ในช่วงความเข้มข้น 0 - 2.5 mM ไม่สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสี การลดลงของค่า Hue angle และการเพิ่มขึ้นของค่า L* a* และ b* ได้ โดยมีอายุการเก็บรักษาเพียง 6 - 8 วัน

2.2 การสูญเสียน้ำหนัก พบว่า มะนาวที่แช่ SA ทุกความเข้มข้นมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตลอดการเก็บรักษา

2.3 คุณภาพภายใน พบว่า มะนาวที่แช่ SA ทุกความเข้มข้นปริมาณน้ำคั้น ปริมาณ TSS ปริมาณ TA และอัตราส่วน TSS:TA ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

3. ผลของการใช้ GA_3 ต่อการยืดอายุการเก็บรักษามะนาว

3.1 อายุการเก็บรักษาและการเปลี่ยนแปลงค่าสี พบว่า มะนาวที่แช่ GA_3 ความเข้มข้น 300 ppm สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสี ชะลอการลดลงของค่า Hue angle และชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า L* a* และ b* ได้ โดยมีอายุการเก็บรักษา 17 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่มีอายุการเก็บรักษา 12 วัน

3.2 การสูญเสียน้ำหนัก พบว่า มะนาวที่แช่ GA_3 ทุกความเข้มข้นมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตลอดการเก็บรักษา

3.3 คุณภาพภายใน พบว่า มะนาวที่แช่ GA_3 ทุกความเข้มข้นปริมาณน้ำคั้น ปริมาณ TSS ปริมาณ TA และอัตราส่วน TSS:TA ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

4. ผลของการใช้ 1-MCP ต่อการยืดอายุการเก็บรักษามะนาว

4.1 อายุการเก็บรักษาและการเปลี่ยนแปลงค่าสี พบว่า มะนาวที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 750 ppb สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสี ชะลอการลดลงของค่า Hue angle และชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า L* a* และ b* ได้ โดยมีอายุการเก็บรักษา 20 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่มีอายุการเก็บรักษา 9 วัน

4.2 การสูญเสียน้ำหนัก พบว่า มะนาวที่รมสาร 1-MCP ทุกความเข้มข้นมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตลอดการเก็บรักษา

4.3 คุณภาพภายใน พบว่า มะนาวที่รมสาร 1-MCP ทุกความเข้มข้นปริมาณน้ำคั้น ปริมาณ TSS ปริมาณ TA และอัตราส่วน TSS:TA ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

5. ผลของสารเคลือบผิวว่านหางจระเข้ GA_3 และสาร 1-MCP ต่ออายุการเก็บรักษาปริมาณคลอโรฟิลล์ และกิจกรรมของเอนไซม์ในกระบวนการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ของมะนาว

5.1 อายุการเก็บรักษาและการเปลี่ยนแปลงค่าสี พบว่า มะนาวที่รมสาร 1-MCP เพียงอย่างเดียว สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสี ชะลอการลดลงของค่า Hue angle และชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า L* a* และ b* ได้ โดยมีอายุการเก็บรักษา 25 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่มีอายุการเก็บรักษา 17 วัน

5.2 การสูญเสียน้ำหนัก พบว่า มะนาวทุกทรีทเมนต์มีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตลอดการเก็บรักษา

5.3 คุณภาพภายใน พบว่า มะนาวที่รมสาร 1-MCP เพียงอย่างเดียวมีปริมาณน้ำคั้นสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมมีปริมาณน้ำคั้นต่ำที่สุด ในขณะที่ปริมาณ TSS ปริมาณ TA และอัตราส่วน TSS:TA ทุกทรีทเมนต์ไม่แตกต่างกัน และมะนาวที่ใช้สารเคลือบผิวว่านหางจระเข้ร่วมกับ 1-MCP มีปริมาณวิตามินซีสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับมะนาวที่ใช้สารเคลือบผิวว่านหางจระเข้เพียงอย่างเดียวมีปริมาณวิตามินซีต่ำสุด

5.4 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดจากเปลือกมะนาว พบว่า มีปริมาณคลอโรฟิลล์ที่มีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และไม่แตกต่างกันทางสถิติ

5.5 กิจกรรมของเอนไซม์ chlorophyllase พบว่า กิจกรรมของเอนไซม์ chlorophyllase มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

5.6 กิจกรรมของเอนไซม์ pheophytinase พบว่า กิจกรรมของเอนไซม์ pheophytinase มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

5.7 อายุการเก็บรักษาและการเปลี่ยนแปลงค่าสีที่อุณหภูมิต่ำ พบว่า มะนาวที่ใช้สารเคลือบผิวว่านหางจระเข้ร่วมกับสาร 1-MCP สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสี ชะลอการลดลงของค่า Hue angle และชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า L* a* และ b* ได้ โดยมีอายุการเก็บรักษา 10 สัปดาห์ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่มีอายุการเก็บรักษา 3 สัปดาห์

5.8 การสูญเสียน้ำหนัก พบว่า มะนาวชุดควบคุมและมะนาวที่แช่ GA_3 เพียงอย่างเดียว สามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักได้

5.9 คุณภาพภายใน พบว่า มะนาวชุดควบคุมมีปริมาณน้ำคั้นสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับมะนาวที่ใช้ว่านหางจระเข้เพียงอย่างเดียวมีปริมาณน้ำคั้นต่ำที่สุด ในขณะที่ปริมาณ TSS ปริมาณ TA และปริมาณวิตามินซีทุกทรีทเมนต์ไม่แตกต่างกัน และพบว่าอัตราส่วน TSS:TA ในมะนาวที่ใช้ว่านหางจระเข้เพียงอย่างเดียว และมะนาวที่ใช้ GA_3 เพียงอย่างเดียว มีอัตราส่วน TSS:TA สูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม มีอัตราส่วน TSS:TA ต่ำสุด

5.10 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดจากเปลือกมะนาว พบว่า มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอและปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และไม่แตกต่างกัน ในขณะที่ปริมาณคลอโรฟิลล์บีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

5.11 กิจกรรมของเอนไซม์ chlorophyllase พบว่า กิจกรรมของเอนไซม์ chlorophyllase มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

5.12 กิจกรรมของเอนไซม์ pheophytinase พบว่า กิจกรรมของเอนไซม์ pheophytinase มีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

เอกสารอ้างอิง

เกศรัตน์ วิศวไพศาล, วิลาวัลย์ คำปวน, จารุณี จูงกลาง และจำนงค์ อุทัยบุตร. 2555. การยืดอายุการวางจำหน่ายของผลมะนาวโดยสารเคลือบผิวจากไขผึ้ง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 43 : 323 - 326.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2541. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 396 หน้า.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2553. ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการวายของพืช. กรุงเทพฯ: ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ. 453 หน้า.

เจริญ ขุนพรม, อุดม ฟ้ารุ่งสาง, นวลวรรณ ฟ้ารุ่งสาง, ธีรนุต ร่มโพธิ์ภักดิ์, พีรพงษ์ แสงวนางค์กูล สมนึก ทองบ่อ และจริงแท้ ศิริพานิช. 2545. ผลของ $KMnO_4$ สารเคมี และปริมาณเชื้อราบนผลมะนาวต่อการเปลี่ยนสีและการเกิดโรคของมะนาวพันธุ์แป้นระหว่างการเก็บรักษา. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 33 : 54 - 59.

ชมพูนุท บัวเผื่อน และลดาวัลย์ เลิศเลอวงศ์. 2557. การใช้สารเคลือบผิวเจลว่านหางจระเข้เพื่อยืดอายุวางจำหน่ายของมะนาวพันธุ์แป้น. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 45 : 101 - 104.

ดนัย บุณยเกียรติ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2531. การปฏิบัติภายหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน. เชียงใหม่. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 171 หน้า.

ดนัย บุณยเกียรติ. 2534. สรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน. เชียงใหม่: ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 226 หน้า.

นันทิพา เอี่ยมสกุล, อินทิรา ลิจันทร์พร และ ศิริชัย กัลป์ยาณรัตน์. 2553. ผลของกรดซาลิไซลิกต่อคุณภาพของผลพุทราพันธุ์บอมแอปเปิล. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 41 : 75 - 78.

นิภา คุณทรงเกียรติ. 2540. การเก็บรักษามะนาว. วารสารเกษตรก้าวหน้า **5** : 7 - 9.

นุชนาฏ ภักดี และพีระศักดิ์ ฉายประสาท. 2553. ผลของสารแคลเซียม-โบรอน (Ca-B) และกรดจิบเบอเรลลิค (GA_3) ที่มีผลต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของส้มโอพันธุ์ท่าข่อย. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 41 : 114 - 117.

ปาริชาติ แสงทอง และ อุษาวดี ชนสุต. 2555. การใช้กรดซาลิไซลิก และเมธิลจัสโมเนท ลดการเกิดอาการสะท้านหนาวของผลส้มสายน้ำผึ้ง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 43 : 468 - 472.

พีรเดช ทองอำไพ. 2537. ฮอร์โมนพืชและสารสังเคราะห์แนวทางการใช้ประโยชน์ในประเทศไทย. กรุงเทพฯ. วิชัยการพิมพ์. 196 หน้า.

วารินทร์ พิมพา และสุภาวดี ปิ่นทอง. 2549. ผลของกรดซาลิไซลิกและสารเคลือบผิวไคโตซานต่ออายุหลังการเก็บเกี่ยวของละมุด. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 37 : 96 - 99.

ศิริชัย กัลยาณรัตน์. 2548. ผลของกรดซาลิไซลิกต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้. วารสารเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว 4 : 2 - 5.

สมโภชน์ น้อยจินดา. 2540. การหายใจและการผลิตเอทธิลีนของผลมะนาว. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 7 : 27 - 30.

สายชล เกตุษา. 2555. การใช้ 1-methylcyclopropene กับผลผลิตพืชสวนสดหลังการเก็บเกี่ยว. วารสารราชบัณฑิตยสถาน 37 : 111 - 123.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2558. มะนาว(online). เข้าถึงได้จาก : http://www.doae.go.th [เข้าถึงเมื่อ 12 กุมภาพันธ์ 2559]

สุจิตรา รตนะมโน และเศรษฐา ศิริพินทุ์. 2548. เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวมะนาว. เชียงใหม่ : รายงานผลงานวิจัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 159 หน้า.

Adetunji, C.O., Fawole, O.B., Arowora, K.A., Nwaubani, S.I., Ajayi, E.S., Oloke, J.K., Majolagbe, O.M., Ogundele, B.A., Aina, J.A. and Adetunji, J.B. 2012. effects of edible coatings from *Aloe vera* gel on quality and postharvest physiology of *Ananas Comosus* (L.) fruit during ambient storage. Global Journal of Science Frontier Research Bio - Tech and Genetics 12 : 38 - 43.

Aiamla-or, S., Nakajimab, T., Shigyo, M. and Yamauchi, N. 2012. Pheophytinase activity and gene expression of chlorophyll degrading enzymes relationg to UV-B treatment in postharvest broccoli (*Brassica oleracea L*. Italica Group) florets. Postharvest Biological and Technology 63 : 60 - 66.

Amarante, C., Banks, N.H. and Ganesh, S. 2001. Relationship between character of skin cover of coated pears and permeance to water vapour and gases. Postharvest Biological and Technology 21 : 291 - 301.

Arowora, K.A., Williams, J.O., Adetunji, C.O., Fawole, O.B., Afolayan, S.S., Olaleye, O.O., Adetunji, J.B. and Ogundele, B.A. 2012. Effects of aloe vera coatings on quality characteristics of oranges stored under cold storage. Greener Journal of Agricultural Sciences 3 : 40 - 47.

Asghari, M. and Aghdam, M.S. 2010. Impact of salicylic acid on post-harvest physiology of horticultural crops. Trends in Food Science & Technology 21 : 502 - 509.

Asghari, M., Ahadi, L. and Riaie, S. 2013. Effect of salicylic acid and edible coating based *Aloe vera* gel treatment on storage life and postharvest quality of grape (*Vitis vinifera* L. cv. *Gizel Uzum*). Agriculture and Crop Sciences 5 : 2890 - 2898.

Athmaselvi, K.A., Sumitha, P. and Revathy, B. 2013. Development of *Aloe vera* based edible coating for tomato. International Agrophysics 27 : 369 - 375.

Blankenship, S.M. and Dole, J.M. 2003. 1-Methylcyclopropene: a review. Postharvest Biology and Technology 28 : 1 -25.

Chauhan, O.P., Nanjappa, C., Ashok, N., Ravi, N., Roopa, N., Raju, P.S. 2015. Shellac and *Aloe vera* gel based surface coating for shelf life extension of tomatoes. Food Scientists and Technologist 52 : 1200 - 1205.

Cohen, E. 1978. Ethylene concentration and duration of the degreening process in 'Shamouti' orange fruit. Journal of Horticultural Science 53 : 139-142.

Delaney, T.P. 2004. Salicylic acid. *In* Plant Hormones Biosynthesis, Signal Transduction, Action. (ed. Davies, P.J.)., Netherlands : Kluwer Academic. pp. 635-654

Duangsuphan, A. and Shiesh, C.C. 2013. Effect of postharvest 1-mcp treatment on the quality of 'Ponkan' Mandarin (*Citrus reticulata* Blanco) fruits. Horticulture. 38 : 25-38.

Ergun, M. and Satici, F. 2012. Use of aloe vera gel as biopreservative for 'Granny smith' and 'Red chief' apples. The Journal of Animal and Plant Sciences 22 : 363 - 368.

Feng, X., Huberman, M., Galili, D., Goren, R. and Goldschmidt, E.E. 2001. Gibberellic acid slows postharvest degreening of 'Oroblanco' citrus fruits. Horticultural Science 36 : 937–940.

He, Q.J., Changhong, L.J., Kojo, E.J., and Tian, Z. 2005. Quality and safety assurance in the processing of *Aloe vera* gel juice. Food Control 16 : 95 - 104.

Huang, R.H., Liu, J.H., Lu, Y.M. and Xia, R.X. 2008. Effect of salicylic acid on the antioxidant system in the pulp of 'Cara cara' navel orange (*Citrus siensis* L. Osbeck) at different storage temperature. Postharvest Biology and Technology 47 : 168 - 175.

Ismail, M. 1997. Delaying rind senescence in citrus fruit. pp. 119-129. In S.H. Futch and W.J. Kender (eds.). Citrus flowering & fruiting shot course. University of Florida, Lake Alfred. Source : http://irrec.ifas.ufl.edu/flcitrus/pdfs/short_course_and_workshop/citrus_flowering_97/Ismail-Delaying_Rind_Senescence.pdf

Jomori, M.L.L., Kluge, F.A. and Jacomino, A.P. 2003. Cold storage of 'Tahiti' lime treated with 1-methylcyclopropene. Scientia Agricola 60 : 785-788.

Kaewsuksaeng, S., Urano, Y., Aiamla-or, S., Shigyo, M., Yamauchi., N. 2011. Effect of UV-B irradiation on chlorophyll-degrading enzyme activities and postharvest quality in stored lime (*Citrus latifolia* Tan.) fruit. Postharvest and Biological Technology 61 : 124-130.

Kant, K., Arora, A., Singh, V.P. and Kumar, R. 2013. Effect of exogenous application of salicylic acid and oxalic acid on post harvest shelf-life of tomato (*Solanum lycopersicon* L.). Indian Journal of Plant Physiology 18 : 15 - 21.

Kazemi, M., Aran, M. and Zamani, S. 2011. Effect of salicylic acid treatments on quality characteristics of Apple fruit during storage. American Journal of Plant Physiology 6 : 113 – 115.

Khademi, Z. and Ershadi, A. 2003. Postharvest application of salicylic acid improves storability of peach (*Prunus persica* cv. Elberta) fruits. International Journal of Agriculture and Crop Sciences 5 : 651 – 655.

Kluge, R.A., Jomori, M.L.L., Jacomino, A.P., Vitti, M.C.D. and Padula, M. 2003. Intermittent warming in 'Tahiti' lime treated with an ethylene inhibitor. Postharvest Biology and Technology 29 : 195 - 203.

Kumar. S, Bhatnagar. T. 2014. Studies to Enhance the Shelf Life of Fruits Using *Aloe Vera* Based Herbal Coatings: A Review. Agriculture and Food Science Technology 5 : 211 - 218.

Marpudi, S.L., Abirami, L.S.S., Pushkala, R. and Srividya, N. 2011. Enhancement of storage life and quality maintenance of papaya fruits using *Aloe vera* based antimicrobial coating. Indian Journal of Biotechnology 10 : 83 - 89.

Marpudi, S.L., Ramachandran, P. and Srividya, N. 2013. *Aloe vera* gel coating for postharvest quality maintenance of fresh fig fruits. Food Science and Technology Division 4 : 878 - 887.

Martínez-Romero, D., Alburquerque, N., Valverde, J.M., Guillén, F, Castillo, S., Valero, D. and Serrano, M. 2006. Postharvest sweet cherry quality and safety maintenance by *Aloe vera* treatment: a new edible coating. Postharvest Biology and Technology 39 : 93 - 100.

Mirzaie, A.M., Abdossi, V. and Talaie, A.R. 2015. Effect of salicylic acid treatment on quality characteristics of sweet cherry fruit in during storage. International Research Journal of Applied and Basic Sciences 9 : 1675 - 1676.

Muhammad, J., Ahmed, Z.S and Ahmad, S.K. 2009. Postharvest aloe vera gel-coating modulates fruit ripening and quality of 'Arctic Snow' nectarine kept in ambient and cold storage. International Journal of Food Science and Technology 44 : 1024 - 1033.

Porat, R., Feng, X., Huberman, M., Galili, D., Goren, R. and Goldschmidt, E.E. 2001. Gibberellic acid slows postharvest degreening of 'Oroblanco' citrus fruits. Hortscience 36 : 937 - 940.

Porat, R., Weiss, B., Cohen, L., Daus, A., Goren, R. and Droby, S. 1999. Effects of ethylene and 1-methylcyclopropene on the postharvest qualities of 'Shamouti' oranges. Postharvest Biology and Technology 15 : 155 - 163.

Razavi1, F., Hajilou1, J., Dehgan, G., Nagshi, Hassani, N. and Turchi, M. 2014. Enhancement of postharvest quality of peach fruit by salicylic acid treatment. International Journal of Biosciences 4 : 177-184.

Rosa, C.I.L.F., Clemente, E., Oliveira, D.M., Todisco, K.M. and da Costa, J.M.C. 2016. Effects of 1-MCP on the post-harvest quality of the orange cv. Pera stored under refrigeration. Revista Ciência Agronômica 47 : 624 - 632.

Sharma, A. and Gautam, S. 2013. An overview on medical properties of *Aloe vera*: Antibacterial and antifungal aspects. International Journal of Pharma and Bio Sciences 4 : 694 - 705.

Siboza, X.I., Bower, J.P. and Bertling, I. 2011. Effect of methyl jasmonate and salicylic acid on chilling injury of Eureka lemons. Acta Horticulturae 911 : 409 - 414.

Srivastava, M.K., Dwivedi, U.N. 2000. Delayed ripening of banana fruit by salicylic acid. Plant Science 158 : 87 - 96

Tareen, M.J., Abbasi, N.A. and Hafiz, I.A. 2012. Effect of salicylic acid treatments on storage life of peach fruits cv. 'Flordaking'. Pakistan Journal of Botany 44 : 119 - 124.

Tavallali, V. and Moghadam, M.M. 2015. Postharvest application of AVG and 1-MCP enhance quality of 'Kinnow' mandarin during cold storage. International Journal of Farming and Allied Sciences 4 : 526 - 535.

Valverde, J.M., Valero, D., Martinez – Romero, D.,Guillen, F., Castillo, S. and Serrano, M. 2005. Novel edible coating based on *Aloe vera* gel to maintain table grape quality and safety. Journal of Agricultural and Food Chemistry 53 : 7807 - 7813.

Watkins, C.B. 2006. The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables. Biotechnology Advances 24 : 389 - 409.

Watkins, C.B. and Miller, W.B. 2005. A summary of physiological processes or disorders in fruits, vegetables and ornamental plants that are delayed or decreased, increased, or unaffected by application of 1-methylcyclopropene (1-MCP). Source : http:// www.hort.cornell.edu/mcp/

Win, T.O., Srilaong, V., Heyes, J., Kyu, K.L. and Kanlayanarat, S. 2006. Effect of different concentrations of 1-MCP on the yellowing of West Indian lime (*Citrus aurantifolia* Swingle) fruit. Postharvest Biology and Technology 42 : 23 - 30.

Zhong, G.Y., Huberman, M., Feng, X.Q., Sisler, E.C., Holland, D. and Goren, R. 2001. Effect of 1-methylcyclopropene on ethylene-induced abscission in citrus. Physiologia Plantarum 113 : 134 - 141.

ผลงานตีพิมพ์

Agricultural Sci. J. 45 : 3/1 (Suppl.) : 101-104 (2014) ว. วิทย. กษ. 45 : 3/1 (พิเศษ) : 101-104 (2557)

การใช้สารเคลือบผิวเจลว่านหางจระเข้เพื่อยืดอายุวางจำหน่ายของมะนาวพันธุ์แป้น

Applications of *Aloe Vera* Gel Coating for Extending the Shelf Life of Lime cv. Pan

ชมพูนุท บัวเผื่อน[1,3] และ ลดาวัลย์ เลิศเลอวงศ์[2,3]
Chompunut Buapuean[1,3] and Ladawan Lerslerwong[1,2]

Abstract

The major problems of harvested lime fruits are quality deterioration and limited shelf life. Recently, *Aloe vera* gel coating has been reported to be an effective tool for improving the storage life of several commodities. The objective of this study, therefore, was to investigate the effect of *A. vera* gel coating on extending the shelf life of lime cv. Pan. Limes were coated with 0, 10, 25, 50, 75 and 100% of *A. vera* gel and packaged in modified atmospheres (MA) in foam trays and over wrapped with plastic film placed at room temperature (33 ± 2 °C and 59.5 ± 4 %RH). The results showed that coating lime fruits with 50% *A. vera* gel was more effective in extending their shelf life (29 day) compared with the control (17 days). Surface coating could delay the decrease in hue angle. However, there was no significant difference in weight loss, total soluble solids content or titratable acidity.

Keywords: *Aloe vera*, lime, shelf life

บทคัดย่อ

ปัญหาสำคัญของผลมะนาวหลังเก็บเกี่ยวคือการเสื่อมคุณภาพและมีอายุการวางจำหน่ายสั้น ปัจจุบันมีรายงานการใช้สารเคลือบผิวเจลว่านหางจระเข้ในการยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตผลหลายชนิด ดังนั้น วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้เพื่อศึกษาผลของสารเคลือบผิวเจลว่านหางจระเข้ในการยืดอายุการวางจำหน่ายของผลมะนาวพันธุ์แป้น ทำการทดลองโดยเคลือบผิวผลมะนาวด้วยเจลว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 0, 10, 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ แล้วบรรจุในถาดโฟมดัดแปลงบรรยากาศวางไว้ที่อุณหภูมิโดยรอบ (33 ± 2°ซ. และความชื้นสัมพัทธ์ 59.5 ± 4) ผลการศึกษาพบว่า การใช้สารเคลือบผิวเจล ว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ สามารถยืดอายุวางจำหน่ายได้นานที่สุดคือ 29 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับผลมะนาวในชุดควบคุมที่มีอายุการวางจำหน่าย 17 วัน การเคลือบผิวสามารถชะลอการลดลงของค่า hue angle ได้ดีที่สุด อย่างไรก็ตามการสูญเสียน้ำหนักของผลมะนาว ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของทุกกรรมวิธีมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

คำสำคัญ: ว่านหางจระเข้, มะนาว, อายุวางจำหน่าย

คำนำ

มะนาว (*Citrus aurantifolia* Swingle) เป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญที่ตลาดมีความต้องการสูงตลอดทั้งปี อย่างไรก็ตามภายหลังการเก็บเกี่ยวมะนาวในระยะที่ผลเจริญเต็มวัยแล้วสีเขียวจะหายไปและปรากฏสีเหลืองขึ้นมาแทน ซึ่งไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค โดยมะนาวซึ่งมีคุณภาพที่เหมาะกับการรับประทานจะต้องมีสีเขียวอยู่เสมอ สาเหตุสำคัญที่ทำให้มะนาวมีอายุหลังเก็บเกี่ยวสั้น คือ การคายน้ำซึ่งทำให้ผลเหี่ยว การเปลี่ยนสีของเปลือกจากเขียวเป็นเหลืองเกิดจากการสลายคลอโรฟิลล์ (จริงแท้, 2546; 2553) การใช้เจลว่านหางจระเข้เป็นสารเคลือบผิวของผลิตผลเป็นนวัตกรรมใหม่ที่น่าสนใจที่นักวิทยาศาสตร์ได้ค้นพบ เนื่องจากสามารถคงคุณภาพของผลไม้และมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค (Sharma and Gautam, 2013) โดยพบว่าสารเคลือบผิวว่านหางจระเข้สามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตผลหลายชนิด (Marpudi *et al.*, 2013) อย่างไรก็ตาม ยังไม่เคยมีการศึกษาการใช้เจลว่านหางจระเข้ในมะนาว ดังนั้น การทดลองครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสารเคลือบผิวเจลว่านหางจระเข้ต่อการยืดอายุการวางจำหน่ายและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลมะนาวพันธุ์แป้น

[1] ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90112
[1] Department of Plant Science, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Songkhla 90112, Thailand
[2] ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักคณะกรรมการการอุดมศึกษา กรุงเทพฯ 10400
[2] Postharvest Technology Innovation Center, Commission on Higher Education, Bangkok 10400, Thailand
[3] สถาบันวิจัยความเป็นเลิศเทคโนโลยีชีวภาพเกษตรและทรัพยากรธรรมชาติ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
[3] Center of Excellence in Agricultural and Natural Resources Biotechnology, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Songkla

อุปกรณ์และวิธีการ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) มี 6 ทรีทเมนต์ คือการเคลือบผลมะนาวด้วยสารละลายเจลว่านหางจระเข้ 6 ความเข้มข้น ได้แก่ 0, 10, 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ทำ 10 ซ้ำ ซ้ำละ 1 ผล ดำเนินการโดยคัดเลือกมะนาวพันธุ์แป้นที่มีขนาดผลและผิวสีเขียวสม่ำเสมอจำนวน 60 ผล มาทำความสะอาดโดยแช่ในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ ความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นแช่ในสารละลายสารกันรา นาน 10 นาที ผึ่งให้แห้ง การเตรียมเจลว่านหางจระเข้ทำตามวิธีการที่ดัดแปลงจาก He *et al.* (2005) โดยนำใบแก่ว่านหางจระเข้มาล้างทำความสะอาดด้วยคลอรีน 25 เปอร์เซ็นต์ แยกเอาส่วนเนื้อออกจากเปลือก (ส่วนใสไม่มีสี) มาบดด้วยเครื่องบดจนละเอียด จากนั้นนำมากรองด้วยผ้าขาวบาง แล้วนำส่วนของเหลวที่กรองได้ไปนึ่งที่อุณหภูมิ 70 °ซ. นาน 45 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเติมกรดแอสคอร์บิก 2 กรัมต่อลิตร แล้วตามด้วยกรดซิตริก 4.5 กรัมต่อลิตร เพื่อให้ได้พีเอชเท่ากับ 4 จากนั้นนำไปเคลือบผลมะนาวให้ทั่วทั้งผลและผึ่งให้แห้ง แล้วนำไปบรรจุในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกห่ออาหาร (ดัดแปลงบรรยากาศ) วางไว้ที่อุณหภูมิโดยรอบ (33 ± 2°ซ. ความชื้นสัมพัทธ์ 59.5 ± 4 %) บันทึกและวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทุกวันดังนี้ อายุการวางจำหน่าย การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกเป็นค่า hue angle และค่า L* การให้คะแนนการเสื่อมสภาพ (0 = ผลมีสีเขียวทั้งผล ผิวมันวาว ค่า hue angle ≥ 123.00, 1 = ผิวเปลือกมีสีเหลือง 10% ค่า hue angle 120.01 – 122.99, 2 = ผิวเปลือกมีสีเหลือง 25% ค่า hue angle 115.01 - 119.99, 3 = ผิวเปลือกมีสีเหลือง 50% ค่า hue angle 111.01 - 115.00, 4 = ผิวเปลือกมีสีเหลือง 75% ค่า hue angle 105.01 - 111.0 และ 5 = ผิวเปลือกมีสีเหลือง 100% ค่า hue angle ≤ 105.00) เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ (TSS) ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (TA) และอัตราส่วน TSS : TA

ผลและวิจารณ์ผล

อายุการวางจำหน่ายและคุณภาพผลภายใน

จากการทดลองพบว่า การเคลือบผิวผลด้วยเจลว่านหางจระเข้สามารถยืดอายุการวางจำหน่ายของมะนาวได้นานกว่าการไม่เคลือบประมาณ 5 – 12 วัน โดยการใช้สารเคลือบผิวเจลว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 50 และ 10 เปอร์เซ็นต์ สามารถยืดอายุการวางจำหน่ายของผลมะนาวหลังการเก็บเกี่ยวได้สูงสุด 12 และ 9 วัน ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่เคลือบผิวซึ่งทำให้ผลมีอายุการวางจำหน่ายเพียง 17 วัน นอกจากนี้ผลมะนาวที่เคลือบผิวด้วยเจลว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 75 100 และ 25 เปอร์เซ็นต์ มีอายุวางจำหน่ายนานกว่าผลมะนาวในชุดควบคุม 5, 5 และ 7 วัน ตามลำดับ ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการศึกษาการใช้เจลเคลือบผิวว่านหางจระเข้กับส้มพันธุ์ 'Valencia' ที่สามารถเก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 12 °ซ ได้นานขึ้น (Arowora *et al.*, 2012) อย่างไรก็ตาม การใช้สารเคลือบผิวเจลว่านหางจระเข้ในทุกความเข้มข้นไม่มีผลต่อคุณภาพภายในได้แก่ ปริมาณน้ำคั้น, TSS, TA และอัตราส่วน TSS : TA (Table 1) ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกันกับรายงานของ Arowora *et al.* (2012) ยกเว้นค่า TA ในผลส้มที่เคลือบผิวซึ่งมีค่าต่ำกว่าผลส้มในชุดควบคุมโดยเกิดขึ้นในช่วงท้ายของการเก็บรักษา

Table 1 Effects of different concentrations of *A. vera* gel coating on shelf life, juice content, total soluble solids (TSS), titratable acidity (TA) and TSS : TA ratio of lime fruits stored at 33 ± 2 °C and 59.5 ± 4% RH

Treatment	Shelf life (days)	Juice content (%)	TSS (%)	TA (%)	TSS/TA
0% *A. vera*	17c	40.8 a	7.2 a	7.4 a	1.0a
10% *A. vera*	26a	37.8 a	7.5 a	7.0 a	1.1a
25% *A. vera*	24b	39.8 a	7.3 a	7.3 a	1.0a
50% *A. vera*	29a	33.3 a	7.6 a	7.2 a	1.1a
75% *A. vera*	22b	34.6 a	7.5 a	7.4 a	1.0a
100% *A. vera*	22b	37.7 a	7.5 a	6.9 a	1.1a

Mean separation within the same column by least significant difference ($P \leq 0.01$)

การเสื่อมสภาพและการสูญเสียน้ำหนัก

สำหรับการเสื่อมสภาพของผลมะนาวหลังการเก็บเกี่ยวมีสาเหตุหลักจากการคายน้ำ ทำให้สูญเสียน้ำหนัก ผลเหี่ยวไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (จริงแท้, 2553) จากผลการทดลองพบว่า อายุการวางจำหน่ายมีความสอดคล้องกับคะแนนการเสื่อมสภาพ โดยพบว่าคะแนนการเสื่อมสภาพของผลมะนาวในชุดควบคุมมีค่าเพิ่มขึ้นตลอดการทดลองจนกระทั่งถึง 5 (ผลมีสีเหลืองทั้งผล) ในวันที่ 17 ของการทดลอง ในขณะที่ผลมะนาวเคลือบผิวมีคะแนนการเสื่อมสภาพประมาณ 3 (Figure 1A) และการเปลี่ยนแปลงสีของผลมะนาวที่เคลือบผิวเกิดขึ้นช้ากว่าผลมะนาวในชุดควบคุมหรืออาจกล่าวได้ว่าการเคลือบผิวด้วยเจลว่านหางจระเข้สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกมะนาวจากเขียวเป็นเหลืองได้ โดยพบว่าการให้ทรีทเมนต์สามารถชะลอการลดลงของค่า hue angle (Figure 1B) และชะลอการเพิ่มขึ้นของค่าความสว่าง (L*) (Figure 1C) โดยทรีทเมนต์ที่ให้ผลดีที่สุดคือสารละลายเจลว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ สารเคลือบผิวว่านหางจระเข้มีส่วนที่ประกอบด้วยพอลิแซ็กคาไรด์ที่ทำหน้าที่กั้นการแพร่เข้า-ออกของออกซิเจนและความชื้นที่เป็นสาเหตุทำให้ผลิตผลเกิดการเสื่อมสภาพเร็วขึ้น เมื่อนำไปเคลือบผิว จึงสามารถชะลอการเสื่อมสภาพของผลิตผลได้ (Athmaselvi *et al.*, 2013) อย่างไรก็ตาม ไม่พบความแตกต่างของการสูญเสียน้ำหนักของมะนาวในทุกทรีทเมนต์ (Figure 1D) ในแง่ของการสูญเสียน้ำหนักที่ไม่แตกต่างกันนี้อาจมีความเป็นไปได้ว่าการเคลือบผิวมะนาวซึ่งเป็นผลที่มีความเป็นมันเงาสูงจึงป้องกันการคายน้ำได้ดี แต่ไม่ลดการถ่ายเทอากาศ (จริงแท้, 2546) ซึ่งในช่วงระหว่างการทดลองสภาพห้องทดลองมีอุณหภูมิเฉลี่ยค่อนข้างสูงแต่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ผลการทดลองที่ได้จึงเห็นผลไม่ชัดเจน

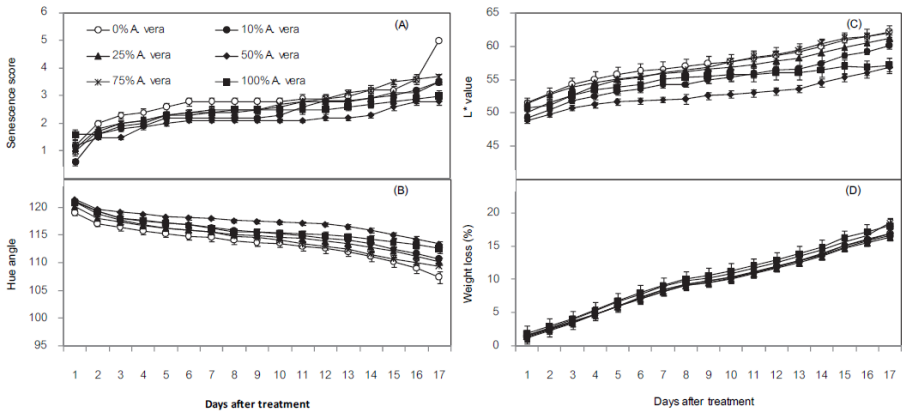


Figure 1 Changes in senescence (A), hue angle (B), L* value (C) and weight loss (D) of lime fruits coated with *A. vera* gel during storage at 33 ± 2 ºC and 59.5 ± 4% RH

[1/] 0 = The green peel colour and glossy, 1 = The yellow colour in peel 10%, 2 = The yellow colour in peel 25%, 3 = The yellow colour in peel 50%, 4 = The yellow colour in peel 75% และ 5 = The yellow colour in peel 100%

สรุป

การเคลือบผิวเจลว่านหางจระเข้สามารถยืดอายุการวางจำหน่ายของผลมะนาวหลังการเก็บเกี่ยวได้ โดยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีและการเสื่อมสภาพของผลมะนาว แต่ไม่มีผลต่อคุณภาพภายใน ซึ่งได้แก่ ปริมาณน้ำคั้น TSS TA และอัตราส่วน TSS : TA

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย และคณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย

เอกสารอ้างอิง

จริงแท้ ศิริพานิช. 2546. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 396 หน้า

จริงแท้ ศิริพานิช. 2553. ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการวายของพืช. ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ. นครปฐม. 453 หน้า

Arowora, K.A., J.O. Williams, C.O. Adetunji, O.B. Fawole, S.S. Afolayan, O.O. Olaleye, J.B. Adetunji and B.A.Ogundele. 2012. Effects of *Aloe vera* coatings on quality characteristics of oranges stored under cold storage. Greener Journal of Agricultural Sciences 3: 39 - 47.

Athmaselvi, K.A., P. Sumitha and B. Revathy. 2013. Development of *Aloe vera* based edible coating for tomato. International Agrophysics 27: 369 - 375.

He, Q.J., L.J. Changhong, E.J. Kojo and Z. Tian. 2005. Quality and safety assurance in the processing of *Aloe vera* gel juice. Food Control 16: 95 - 104.

Marpudi, S.L., P. Ramachandran and N.Srividya. 2013. *Aloe vera* gel coating for postharvest quality maintenance of fresh fig fruits. Food Science and Technology 4: 878 - 887.

Sharma, A. and S. Gautam. 2013. An overview on medical properties of *Aloe vera*: Antibacterial & antifungal aspects. International Journal of Pharma and Biosciences 4: 694 - 705.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - สกุล นางสาวชมพูนุท บัวเผื่อน

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5610620013

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีการเกษตร)	มหาวิทยาลัยทักษิณ	2556

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

1. ทุนสนับสนุนการผลิตบัณฑิตสถานวิจัยความเป็นเลิศเทคโนโลยีชีวภาพเกษตรและทรัพยากรธรรมชาติ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
2. ทุนผู้ช่วยวิจัยจากศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
3. ทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

ชมพูนุท บัวเผื่อน และลดาวัลย์ เลิศเลอวงศ์. 2557. การใช้สารเคลือบผิวเจลว่านหางจระเข้เพื่อยืดอายุวางจำหน่ายของมะนาวพันธุ์แป้น. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 45:101 – 104.